

**AT** MICROFICHE  
REFERENCE  
LIBRARY

A project of Volunteers in Asia

Small Hydroelectric Plants

Published by:

Small Decentralized Hydropower Program  
International Programs Division  
National Rural Electric Cooperative Assn.  
1800 Massachusetts Avenue N.W.  
Washington D.C. 20036  
USA

Available from:

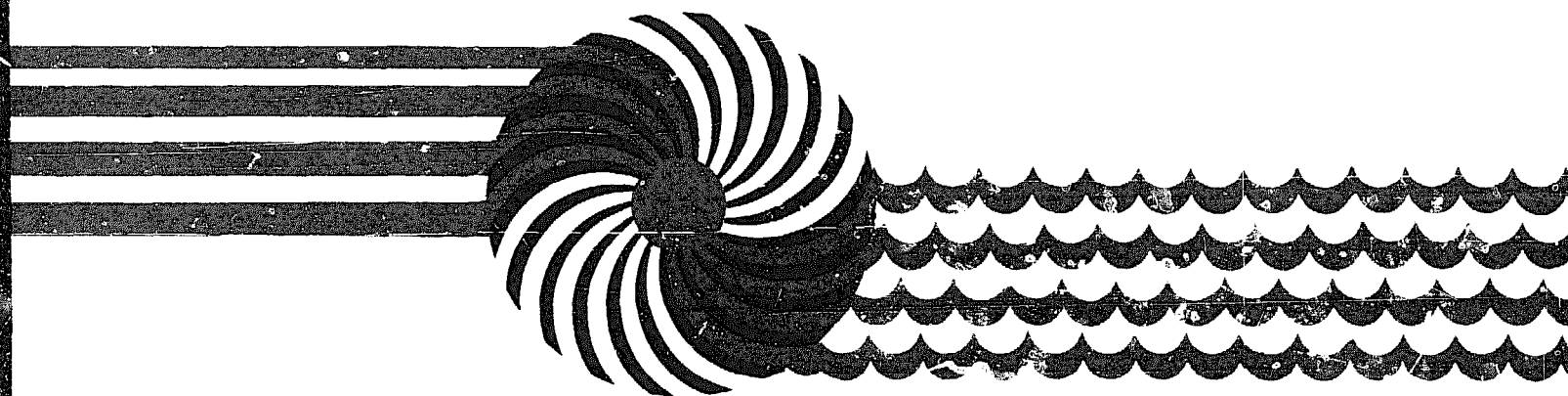
same as above

Reproduced by permission.

Reproduction of this microfiche document in any form is subject to the same restrictions as those of the original document.

# Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Un Intercambio de Información sobre Problemas,  
Metodologías, y Desarrollo



# Small Hydroelectric Powerplants

An Information Exchange on Problems,  
Methodologies, and Development

AUSPICIAN:

Instituto Nacional de Energía  
República del Ecuador

Instituto Ecuatoriano de Electrificación  
República del Ecuador

División de Programas Internacionales  
Asociación Nacional de Cooperativas  
de Electrificación Rural en Cooperación  
con la Agencia para el Desarrollo  
Internacional de los Estados Unidos (USAID)

19-21 de agosto de 1980  
Hotel Inter-Continental Quito  
Quito, Ecuador

National Rural Electric Cooperative Association  
1800 Massachusetts Avenue, NW Washington, D.C. 20036

# Tabla de Materias

## Reconocimientos .....IV

### Sección I: Introducción

#### Introducción ..... 3

Dr. Jack Fritz, Asesor  
Oficina de Energía  
Agencia para Desarrollo Internacional de  
los Estados Unidos  
Washington, D.C., EE.UU.

Dr. David Zoellner, Administrator Asistente  
Division de Programas Internacionales  
Programa de Pequeñas Centrales  
Hidroeléctricas  
NRECA  
Washington, D.C., EE.UU.

#### Resumen y Recomendaciones de la Conferencia ..... 5

Dr. David Zoellner, Administrator Asistente  
Division de Programas Internacionales  
Programa de Pequeñas Centrales  
Hidroeléctricas  
NRECA  
Washington, D.C., EE. UU.

### Sección II: Planificación y Análisis

#### Hidroelectricidad—Fundamento para el Progreso ..... 12

Sr. Ellis Armstrong, Presidente  
Armstrong Associates  
Utah, EE. UU.

#### Estudios Hidrológicos para Asesoramiento de la Hidroenergía ..... 22

Dr. John S. Gladwell, Asesor Superior  
División de Ciencias Acuáticas  
Organización Educativa, Científica, y  
Cultural de Las Naciones Unidas  
(UNESCO)  
París, Francia

#### Determinación de la Demanda de la Comunidad, Planeamiento de la Investigación y Del Sistema ..... 59

Sr. Ray Holland, Asesor Industrial  
Intermediate Servicios de Industriales  
Tecnología  
Rugby, Inglaterra

#### Impactos Ambientales de la Energía Hidroeléctrica en Pequeña Escala ..... 77

Dr. David Zoellner, Administrator Asistente  
Division de Programas Internacionales  
Programa de Pequeñas Centrales  
Hidroeléctricas  
NRECA  
Washington, D.C. EE. UU.

#### Metodologías para Estudios de Factibilidad Económica y Financiera ..... 101

Sr. Mark Henwood, Director de Proyectos Energéticos  
Auslam Associates  
California, EE.UU

# Table of Contents

## Acknowledgements ..... IV

### Section I: Introduction

#### Introduction ..... 3

Dr. Jack Fritz, Advisor  
Office of Energy  
United States Agency for International  
Development (USAID)  
Washington, D.C., U.S.A.

Dr. David Zoellner, Assistant Administrator  
International Programs Division  
Small Decentralized Hydropower Program  
NRECA  
Washington, D.C., U.S.A.

#### Workshop Summary and Recommendations .. 5

Dr. David Zoellner, Assistant Administrator  
International Programs Division  
Small Decentralized Hydropower Program  
NRECA  
Washington, D.C., U.S.A.

### Section II: Planning and Analysis

#### Hydropower—Fundamental for Progress ..... 12

Mr. Ellis Armstrong, President  
Armstrong Associates NRECA  
Utah, USA

#### Hydrologic Studies for Hydropower Assessment ..... 22

Dr. John S. Gladwell, Senior Advisor  
Division of Water Sciences  
United Nations Educational, Scientific, and  
Cultural Organization (UNESCO)  
Paris, France

#### Community Load Determination, Survey and System Planning ..... 59

Mr. Ray Holland, Industrial Advisor  
Intermediate Technology Industrial Services  
Rugby, England

#### Environment Assessment of Small Scale Hydropower ..... 77

Dr. David Zoellner, Assistant Administrator  
International Programs Division  
Small Decentralized Hydropower Program  
NRECA  
Washington, D.C.

#### Economic and Financial Feasibility Study Methodologies ..... 101

Mr. Mark Henwood, Director of Energy Projects  
Auslam Associates  
California, U.S.A.

### Section III: Small Hydropower Technology

#### Small Turbine Technology: A Selective Review ..... 118

Dr. Roger Arndt, Director  
St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory  
Minnesota, U.S.A.

## Sección II: Tecnología Para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

### La Tecnología de las

#### Turbinas Pequeñas Examen Selectivo ..... 118

Dr. Roger Arndt, Director  
St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory  
Minnesota, EE.UU.

### Criterios de Diseño Obras

#### Civiles Típicas para Proyectos de

#### Minicentrales Hidroeléctricas ..... 145

Ing. Juan Mata Cruz, Jefe  
Programa de Tecnología Aplicada  
ELECTROPERU  
Lima, Peru

### Selección del Lugar e Instalación

#### de la Turbina ..... 156

Sr. Kenneth Grover, Presidente  
GSA International Corporation  
New York, EE.UU.

### Obras Civiles: Diseño, Operación y Mantenimiento de Facilidades

#### Hidroeléctricas Pequeñas ..... 168

Sr. John Cassidy, Director  
Centro de Investigación Acuática de Estado  
de Washington  
Washington, EE.UU.

### Generación Hidroeléctrica ..... 186

Sr. Roberto Iniguez  
Gerente de Operaciones Internacionales  
Tudor Engineering Company  
California, EE.UU.

### Consideraciones Sobre la Distribución para Proyectos Hidroeléctricos

#### Mini/Micro ..... 214

Sr. Bard Jackson, Ingeniero Principal  
División de Programas Internacionales  
Asociación Nacional de Cooperativas  
de Electrificación Rural (NRECA)  
(NRECA)  
Washington, D.C., EE.UU.

### Oportunidades para la Manufactura

#### Local de Equipos Hidroeléctricos ..... 233

Sr. Kenneth Grover, Presidente  
GSA International Corporation  
New York, EE.UU.

### Producción de Fertilizante

#### Mediante Energía Hidráulica ..... 241

Sr. Richard W. Treharne, Director, Investigación  
Kettering Laboratory  
Yellow Springs, Ohio EE.UU.

## Sección IV: Perspectivas Institucionales Sobre el Desarrollo de Mini Hidroelectricidad

### Necesidades Institucionales para el Desarrollo de Microcentrales

#### Hidráulicas ..... 250

Dr. Carlos Quevedo, Director  
Instituto Nacional de Energía (INE)  
Quito, Ecuador

## Design Criteria of Typical Civil Works for Minihydropower Plant Projects ..... 145

Engineer Juan Mata La Cruz, Chief  
Program of Applied Technology  
ELECTROPERU  
Lima, Peru

## Site Selection and Turbine Setting ..... 156

Mr. Kenneth Grover, President  
GSA International Corporation  
New York, U.S.A.

## Civil Works Design, Operation, and Maintenance for Small Hydropower Facilities ..... 168

Mr. John Cassidy, Director  
State of Washington Water Research Center  
Washington, U.S.A.

## Hydroelectric Generation ..... 186

Mr. Roberto Iniguez  
Tudor Engineering Company  
California, U.S.A.

## Distribution Considerations for Mini/Micro Hydro Projects ..... 214

Mr. Bard Jackson, Principal Engineer  
International Programs Division  
NRECA  
Washington, D.C., U.S.A.

## Local Opportunities in

## Hydroequipment Manufacturing ..... 233

Mr. Kenneth Grover, President  
GSA International Corporation  
New York, U.S.A.

## Fertilizer Production by Water Power ..... 241

Mr. Richard W. Treharne, Director  
Research Engineering  
Kettering Laboratory  
Yellow Springs, Ohio, U.S.A.

## Section IV: Institutional Perspectives on Small Hydro Development

### Institutional Requirements for the Development of Microhydropower Plants ..... 250

Dr. Carlos Quevedo, Director  
National Energy Institute (INE)  
Quito, Ecuador

### Micro Hydro Powerplant

#### Program in Ecuador ..... 263

Engineer Leoncio Galarza, Director of Planning  
Ecuadorian Institute of Electrification  
(INECEL)  
Quito, Ecuador

### Financial Aspects ..... 274

Engineer Hector Viteri  
Assistant to the Director of Finance  
Ecuadorian Institute of Electrification  
(INECEL)  
Quito, Ecuador


<b>El Programa de Microcentrales Hidroeléctricas en el Ecuador</b> .....	263	<b>Small Power Plants for Hydroelectric Generation in Rural Areas</b> .....	286
Ing. Leoncio Galarza, Director de Planificación Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) Quito, Ecuador		Engineer Carlos Tudela National Institute of Rural Electrification (INER) La Paz, Bolivia	
<b>Tópicos Financieros</b> .....	274	<b>Planning of Small Electric Systems and Mini Hydropower Plants</b> .....	290
Ing. Hector Viteri Subgerente de Financiamiento Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) Quito, Ecuador		Engineer Humberto Egoavil Puccinelli, Chief Rural Electrification Projects ELECTROPERU Lima, Peru	
<b>Microcentrales para la Generación Hidroeléctrica en el Área Rural</b> .....	286	<b>Microgeneration and Development</b> .....	309
Ing. Carlos Tudela Instituto Nacional de Electrificación Rural (INER) La Paz, Bolivia		Engineer Eduardo Moran National Energy Institute (INE) Quito, Ecuador	
<b>Planeamiento de Pequeños Sistemas Eléctricos y Minicentrales Hidroeléctricas</b> .....	290	<b>Section V: Roundtable Discussions</b>	
Ing. Humberto Egoavil Puccinelli, Jefe Proyectos de Electrificación Rural ELECTROPERU Lima, Peru		<b>Panel Discussion No. 1: Management Issues in Small Hydro</b> .....	314
<b>Microgeneración y Desarrollo</b> .....	309	Moderator: Geoffrey Smith Information and Training Specialist Small Decentralized Hydropower Program International Programs Division NRECA Washington, D.C., U.S.A.	
Ing. Eduardo Morán Instituto Nacional de Energía (INE) Quito, Ecuador		<b>Panel Discussion No. 2: Other Aspects of Small Hydro Development</b> .....	317
<b>Sección V: Reuniones Paritarias</b>		Moderator: Dr. Carlos Quevedo, Director National Energy Institute (INE) Quito, Ecuador	
<b>Discusión de Mesa Redonda No. 1: Cuestiones de Administración en Plantas Hidroeléctricas Pequeñas</b> .....	314	<b>Glossary</b> .....	320
Moderador: Geoffrey Smith Especialista Encargado de Entrenamiento e Información Programa de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas NRECA Washington, D.C., EE.UU.			
<b>Discusión de Mesa Redonda No. 2: Otros Aspectos del Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas</b> .....	317		
Moderador: Dr. Carlos Quevedo, Director Instituto Nacional de Energía (INE) Quito, Ecuador			
<b>Glosario</b> .....	320		

## Reconocimientos

Esta conferencia/taller fue un esfuerzo colaborativo de varias organizaciones. A ellas y específicamente a los individuos mencionados más abajo, extendemos nuestra apreciación sincera.

- Dr. Carlos Quevedo
- Ing. Eduardo Morán  
Instituto Nacional de Energía, Quito, Ecuador
- Ing. Leoncio Galarza  
Instituto Ecuatoriano de Electrificación,  
Quito, Ecuador
- Dr. Jack J. Fritz, Washington, D.C.
- Mr. Gary Vaughn, Quito, Ecuador  
Agencia para el Desarrollo Internacional de los  
Estados Unidos
- Dr. David Zoellner
- Mr. Geoffrey Smith
- Mr. Bard Jackson
- Lucy Lopez  
Asociación Nacional de Cooperativas de  
Electrificación Rural

El texto fué preparado y traducido por el personal de la División de Programas Internacionales de la Asociación Nacional de Cooperativas de Electrificación Rural. Como editor, yo (M.K. Rotermund) debo tomar responsabilidad por errores de omisión y comisión. Pido disculpa a los autores y participantes por introducir errores.




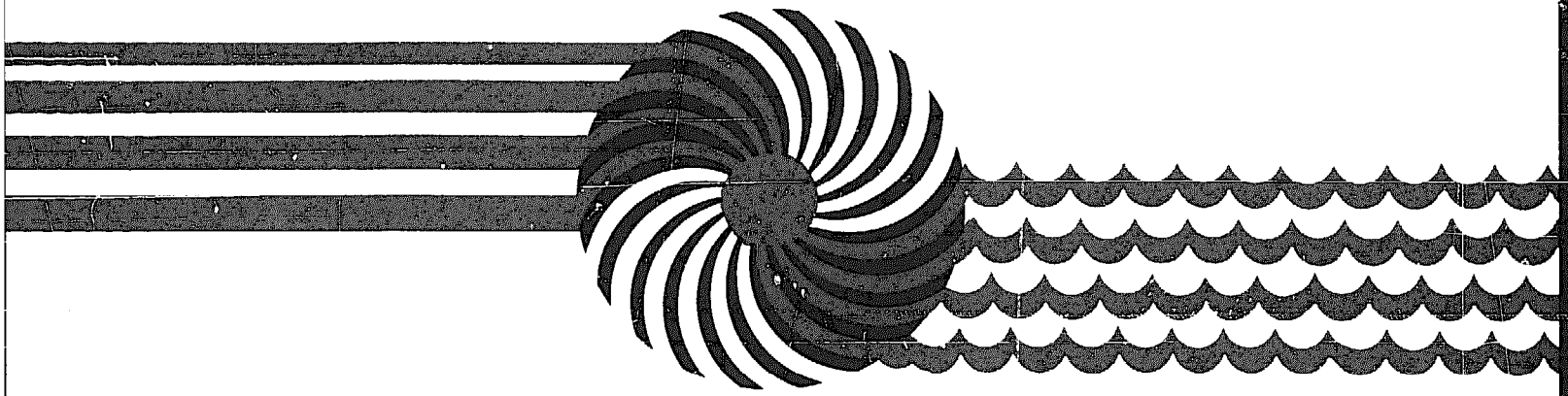
## Acknowledgements

This workshop was a collaborative effort among several organizations. To them and specifically to the individuals listed below are extended sincerest appreciation.

- Dr. Carlos Quevedo
- Ing. Eduardo Moran  
National Energy Institute, Quito, Ecuador
- Ing. Leoncio Galarza  
Ecuadorian Institute of Electrification  
Quito, Ecuador
- Dr. Jack J. Fritz, Washington, D.C.
- Mr. Gary Vaughn, Quito, Ecuador  
U.S. Agency for International Development
- Dr. David Zoeliner
- Mr. Geoffrey Smith
- Mr. Bard Jackson
- Lucy Lopez  
National Rural Electric Cooperative  
Association, Washington, D.C.

The text was prepared and translated by the staff of the National Rural Electric Cooperative Association, International Programs Division. As the editor, I (M.K. Rotermund) must claim responsibility for errors of commission and omission. I apologize to the authors and participants for introducing any errors.





**Introducción**

**Introduction**

**1**



# Introducción

Jack J. Fritz  
David R. Zoellner

Se imponen severos gravámenes sobre los países en desarrollo como consecuencia del continuo aumento en los costos de energía. Con frecuencia se abrevian los planes para el desarrollo a causa de que se utilizan las escasas fuentes de recurso del intercambio extranjero para pagar el petróleo importado. Una fuente de esperanza para disminuir los déficits en la balanza de pagos que va en constante aumento, está basada en la aplicación de sistemas alternativos para obtener energía mediante el uso de fuentes renovables. Tal tecnología es la hidroelectricidad mini y micro. Ella podría tener un impacto significativo para satisfacer las necesidades de energía eléctrica en las comunidades rurales.

Los países en desarrollo sólo están empezando a aprovechar el potencial hidroeléctrico. Como el costo del petróleo y la gasolina continúan en aumento, los costos del capital para la hidroelectricidad se convierten en más y más atractivos especialmente en las áreas remotas donde los costos de transporte del combustible de origen fósil es prohibitivo. La hidroelectricidad es una tecnología comprobada, con costo efectivo y se la puede poner en efecto por intermedio de las instituciones locales.

Hay interés especial en desarrollar las facilidades hidráulicas descentralizadas en la América Latina para satisfacer las demandas de energía que de otro modo no serían satisfechas, las de las áreas rurales. Las facilidades en consideración caen bajo dos clasificaciones principales dependiendo del tamaño de las mismas: (1) plantas micro-hidráulicas de alta caída, de 10 kW a 100 kW de capacidad, usualmente ubicadas en las regiones montañosas, utilizando turbinas a impulso; y (2) sistemas hidráulicos "mini" de 100 kW a 1 MW de capacidad para aplicación tanto a alta como a baja caída.

La Oficina de Energía de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) ha iniciado un programa de apoyo a la hidroelectricidad mini y micro y ha firmado un contrato con la Asociación Nacional de Cooperativas de Electrificación Rural para obtener los servicios técnicos asociados. El programa de AID está destinado a estimular la aplicación de esta tecnología a los países en desarrollo, no sólo como una alternativa a los costosos sistemas de generación diesel, sino también como parte de los proyectos integrados de desarrollo rural.

Los objetivos del programa de AID para la hidro-

# Introduction

Jack J. Fritz  
David R. Zoellner

Severe financial burdens are being imposed upon the developing countries (LDCs) as a result of continually rising energy costs. Development plans are often curtailed as scarce foreign exchange resources are being drained to pay for imported petroleum. One hope of stemming these increasing balance-of-payment deficits is through the application of alternative energy systems based on renewable energy resources. Mini-micro hydropower is such a technology. It can have a significant impact on meeting electrical energy needs in rural communities.

The hydropower potential is only beginning to be tapped in developing countries. As oil and gas prices continue to rise, hydropower capital costs are becoming increasingly attractive, especially in remote areas where fossil fuel transportation costs are prohibitive. Hydropower is a proven technology, cost effective and implementable through the local institutions.

In Latin America, decentralized hydro facilities are of principal interest in serving the energy demands that might otherwise go unsatisfied, the demands of rural areas. Two major size ranges of facilities under consideration are: 1) micro hydro high-head plants of 10 kW to 100 kW capacity, usually located in mountainous regions utilizing impulse turbines; and 2) mini hydro systems of 100 kW to one MW capacity for both high-head and low-head applications.

The Office of Energy of the Agency for International Development (AID) has initiated a mini-micro hydropower support program and has contracted with the International Programs Division of the National Rural Electric Cooperative Association for associated technical services. The AID Program is designed to encourage the application of this technology in the LDCs not only as an alternative to expensive diesel-generator systems, but also as part of integrated rural development projects.

The goals of the AID mini-micro hydropower-program can be summarized as follows:

- Determination of how mini-micro hydropower can contribute to the objectives of a national energy program, with specific emphasis on supplying energy to rural areas. Such an in-

electricidad mini y micro se pueden resumir como sigue:

- Determinación de los métodos como la hidroelectricidad mini y micro puedan contribuir a los objetivos de un programa nacional de energía, con énfasis específico en el suministro de energía a las áreas rurales. Tal investigación requiere un asesoramiento en el campo de los recursos hidrológicos y su proximidad a los centros de consumo.
- Elevar el nivel de concientización del personal clave de las instituciones gubernamentales de los países en desarrollo — tales como los que establecen normas, los que toman decisiones y los técnicos — en los diversos aspectos de la tecnología así como su potencial, limitaciones y economía.
- Establecimiento de un sistema de intercambio de información incluyendo manuales técnicos, metodología para la selección de la ubicación de la central, análisis económico y social. Los beneficiarios incluyen muchos miembros del personal de las agencias energéticas y organizaciones de desarrollo regional.
- Estimulación del interés entre las organizaciones internacionales de financiamiento con el propósito de financiar grandes programas en los países en desarrollo.
- Exámen de las cuestiones institucionales y económicas asociadas con la implementación de la hidroelectricidad mini y micro.

Para satisfacer estos objetivos se ha propuesto realizar una serie de conferencia/talleres regionales a fin de examinar las cuestiones y problemas en base a las características regionales específicas. La primera conferencia/taller se efectuó en Quito, Ecuador del 19 al 21 de agosto de 1980. Fue co-patrocinada por el Instituto Nacional de Energía (INE), el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) y la Asociación Nacional de Cooperativas de Electrificación Rural (NRECA). Este volumen contiene las actas de dicha conferencia/taller en Español e Inglés. Asistieron aproximadamente 110 participantes representando una docena de países y varias organizaciones internacionales. Se hicieron presentaciones cubriendo muchos aspectos de la hidroelectricidad mini y micro. De interés particular fueron las presentaciones hechas por los países y las sesiones técnicas dadas por expertos de la tecnología hidroeléctrica. Las evaluaciones posteriores indicaron que la conferencia/taller fué bien recibida y provechosa para todos los participantes.

quiry requires a field assessment of hydrologic resources and their proximity to load centers.

- Raise the consciousness level among policy-makers, decision-makers and technical staffs of government institutions in developing countries on various aspects of the technology such as its potential, limitations and economics.
- Establishment of a system of information exchange to include technical manuals and methodological approaches to site selection, economic and social analysis. The beneficiaries include the many staff members in energy agencies and regional development organizations.
- Stimulation of interest among the international donor organizations with the aim of financing large programs in the developing countries.
- Examination of the institutional and economic issues associated with mini-micro hydropower implementation.

In order to meet these objectives, it was proposed that a series of regional workshops be held with the aim of examining these issues and problems on a region-specific basis. The first such workshop took place in Quito, Ecuador on August 19-21, 1980. It was co-sponsored by the Instituto Nacional de Energía (INE), the Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) and the National Rural Electric Cooperative Association (NRECA). This volume contains the proceedings of that workshop in both Spanish and English. Approximately 110 guest attended representing a dozen countries and several international organizations. Discussions were held covering many aspects of mini-micro hydropower. Of particular interest were the country presentations and technical sessions given by hydropower technology experts. Post evaluations indicated that the workshop was well received and of benefit to all attendees.

# Resumen Y Recomendaciones de la Conferencia

David Zoellner

Antes de resumir lo que ha resultado en una conferencia/taller muy productiva, deseo hacer unas pocas notaciones.

En particular, deseo expresar mis agradecimientos a los co-auspiciadores ecuatorianos de esta conferencia: el Instituto Nacional de Energía (INE) y el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL). La substancia de la conferencia fué grandemente realizada por la perspicacia, la asistencia y cooperación proporcionados por los miembros del INE y del INECEL.

A la Oficina de Energía de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID), deseo expresar mi apreciación por suministrar los recursos que hicieron posible la realización de esta conferencia. Igualmente importante para todos nosotros es la contribución efectuada por la Misión de USAID en Quito. Ellos suministraron el considerable esfuerzo que una conferencia internacional como ésta requiere. Muchas Gracias.

Finalmente, una expresión de gratitud para la Ciudad de Quito. Es una ubicación excelente para una junta internacional.

Deseo mencionar nuestro nuevo programa en la Asociación Nacional de Cooperativas Eléctricas Rurales (NRECA). NRECA ha acumulado muchos años de experiencia internacional trabajando con cooperativas eléctricas existentes y en el desarrollo de las nuevas. Ahora agregamos a dicha capacidad, la habilidad de suministrar asistencia técnica a los países en desarrollo en el área de pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas. Este programa ha sido posible mediante un convenio cooperativo entre NRECA y la Oficina de Energía de USAID en Washington, D.C. Las plantas hidroeléctricas de menos de 1 MW de capacidad son el motivo de nuestro enfoque. Nuestras actividades incluyen, pero no están limitadas a:

- Servicios de consulta
- Estudios especiales
- Conferencias y seminarios, tal como la presente
- Estudios de prefactibilidad y factibilidad
- Artículos especiales, manuales y reportes
- Una fuente mundial de información básica sobre pequeños sistemas hidráulicos
- Un programa de entrenamiento.

# Workshop Summary and Recommendations

David Zoellner

Before summarizing what has been a very productive workshop, I would like to make a few remarks.

In particular, I wish to express my thanks to the Ecuadorian cosponsors of the workshop: the Instituto Nacional de Energía (INE) and the Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL). The substance of the conference was greatly enhanced by the insight, assistance and cooperation provided by the members of INE and INECEL.

To the U.S. Agency for International Development (USAID) Energy Office, I would like to express my appreciation for providing the resources that made this conference possible. Just as important to all of us is the contribution made by the USAID Mission in Quito. They provided the considerable staff effort that an international conference like this requires. Thank you.

Finally, a word of thanks to the City of Quito. It is an excellent location for an international meeting.

I want to mention our new program at the National Rural Electric Cooperative Association (NRECA). NRECA has had years of international experience in working with existing and developing new electric cooperatives. We now add to that the capability to provide technical assistance to developing countries in the area of small decentralized hydropower. This program has come about through a cooperative agreement between NRECA and the USAID Energy Office in Washington, D.C. Our focus is on hydroelectric plants with less than 1 MW of capacity. Our activities include, but are not limited to:

- Consulting services
- Special studies
- Workshops and seminars such as this one
- Prefeasibility and feasibility studies
- Special papers, manuals and reports
- A worldwide data base on small hydro systems
- A training program

Tenemos en Washington, D.C. un nuevo equipo de personal para este programa y nos complacerá intercambiar ideas con cualquiera de los presentes acerca de nuestro programa y acerca de los métodos como el mismo podría satisfacer sus necesidades.

La conferencia ha tenido un gran éxito. Los objetivos específicos que se han satisfecho son los de proporcionar una conferencia/taller técnica y de caracterizar un intercambio de información y el desarrollo de contactos para acción cooperativa en el futuro. Se puede atribuir la satisfacción de estos objetivos a los participantes y a aquellos que observan. Su dedicación y esfuerzos para intercambiar experiencias ayudará a cumplir la meta de desarrollar la capacidad hidroeléctrica en pequeña escala en las áreas rurales.

La mejor manera de presentar un resumen de la conferencia es la de usar los criterios que el Dr. Jack Fritz estableció al principio:

**Criterio 1: Definir el lugar de las pequeñas plantas hidroeléctricas en el equilibrio de la energía**

**Hallazgos de la Conferencia:**

- Satisface las necesidades rurales, las necesidades de las comunidades descentralizadas aisladas.
- Combina el futuro de una fuente renovable con la dependabilidad de una tecnología comprobada
- Está disponible ahora mismo
- Se las puede integrar con otras fuentes de energía y otras tecnologías

**Criterio 2: Elevar el nivel de conscientización con respecto a las pequeñas plantas hidroeléctricas**

**Hallazgos de la Conferencia:**

- Hemos revisado el estado del desarrollo de la tecnología de las turbinas, sus tipos, características y materiales
- Hemos intercambiado experiencias con fabricantes locales de equipos y hemos descrito las habilidades requeridas
- Hemos investigado los análisis hidrológicos, los requisitos para la información y las técnicas
- Hemos examinado los criterios de selección del lugar y la necesidad de que los equipos se ajusten a las características del lugar
- Hemos investigado la factibilidad operativa de las facilidades
- Hemos aprendido acerca de la generación y distribución y los equipos requeridos
- Nos han informado acerca de las metodologías

We have a new staff in Washington, D.C. for this program and would be pleased to talk to any of you about our program and how it may meet your needs.

The conference has been highly useful. The stated objectives that have been met were that it be a technical workshop and that it feature information exchange and development of contracts for future cooperative action. That these objectives have been met is attributable to the participants and observers. Their dedication and efforts to share their experiences will help achieve the goal of developing small hydroelectric capacity in rural areas.

A summary of the conference is best presented by means of the criteria Dr. Jack Fritz set out in the beginning:

**Criterion 1: The fit of small scale hydro in the energy balance**

**Workshop findings:**

- It meets rural needs of isolated, decentralized communities
- It combines the future of a renewable resource with the reliability of a proven technology
- It is available now
- It can be integrated with other energy sources and technologies

**Criterion 2: Raise consciousness levels with respect to small hydro**

**Workshop findings:**

- We have looked at the state of small turbine technology, its types, characteristics and materials
- We have shared the experiences of local equipment manufacturers and have discussed the required skills
- We have discussed hydrologic analysis, its information requirements and techniques
- We have examined site selection criteria and the need to match the equipment to the site
- We have looked at the operational feasibility for facilities
- We have learned about generation and distribution and the required equipment
- We have heard about economic methodologies used in determining project feasibility

económicas utilizadas en la determinación de la factibilidad de un proyecto.

### **Criterio 3: Establecimiento de sistemas para el intercambio de información.**

#### **Hallazgos de la Conferencia:**

- Hemos escuchado acerca de las experiencias obtenidas en el Ecuador, el Perú, Panamá, Colombia y otros países
- Hemos reunido administradores, fabricantes de equipos, representantes de instituciones financieras, planificadores, investigadores y miembros de organizaciones internacionales. Los contactos establecidos aquí abarcan todo el rango de los expertos
- El diálogo comenzado aquí, sin duda ha de continuar

### **Criterio 4: Estimular el interés en pequeñas plantas hidroeléctricas dentro de la comunidad financiera.**

#### **Hallazgos de la Conferencia:**

- Se ha hecho un reconocimiento de la circunstancia rural, de sistemas descentralizados de energía en pequeña escala, su oportunidad, dificultades y requisitos
- Los representantes financieros han expresado sus requisitos, procedimientos y limitaciones
- El tiempo y nuestros esfuerzos han de determinar la extensión de la influencia sobre el criterio utilizado en el financiamiento de pequeñas plantas hidroeléctricas

### **Criterio 5: Estudio de cuestiones básicas**

#### **Hallazgos de la Conferencia:**

- Es difícil implementar un programa nacional para la hidroelectricidad en pequeña escala
- Cómo se factorea en el proceso de planificación los usos finales, el financiamiento, el asesoramiento de recursos y la administración de proyectos hidroeléctricos de pequeña escala?
- El equipo: se lo debe importar o fabricar localmente?

Hay una ventaja en el ahorro del tiempo si se importa el equipo. No obstante, la manufactura local presenta una oportunidad nacional. También está la opción de fabricar bajo licencia. Relacionadas con el equipo, hay una serie de cuestiones respecto a entrenamiento, financiamiento, asistencia técnica, y modificación y uniformación de los equipos

### **Criterion 3: Establishment of systems for information exchange**

#### **Workshop findings:**

- We have listened to the experience obtained in Ecuador, Peru, Panama, Columbia and in other countries
- We have brought together managers, equipment manufacturers, financial institution representatives, planners, researchers and members of international organizations. The contacts here span the whole range of expertise
- The dialogue that was begun here will continue, I am sure

### **Criterion 4: Stimulate interest in small hydro within the financial community**

#### **Workshop findings:**

- An awareness of rural, decentralized small scale energy systems, their opportunity, difficulties and requirements, has been expressed
- Financial representatives have discussed their requirements, procedures and limitations
- Time and our efforts will determine how well we have done in influencing criteria used in small hydro financing

### **Criterion 5: Examine basic issues**

#### **Workshop findings:**

- Implementing a national program for small scale hydro is difficult
- How does one factor into the planning process end uses, financing, resource assessments and management of small hydro projects?
- Equipment — should it be imported or manufactured locally?

There is a time advantage in importing equipment. However, there is a national opportunity in local manufacturing. Manufacturing under license is also an option. Surrounding the equipment issue are a host of questions on training, financing, technical assistance, and equipment modification and standardization

- Rural decentralized energy is unique
- Will management be at the corporate, state, village or cooperative level? What about equipment size — will it be small enough for decentralized generation and distribution? What are the optimums on equipment size for

- Los sistemas de energía rural descentralizada en pequeña escala. Tienen calidades únicas que presentan un desafío a las instituciones financieras y administrativas

- La administración: ha de ser empresaria, del estado, del pueblo o a nivel de cooperativa?

Acerca del tamaño del equipo — será suficientemente pequeño como para generar y distribuir energía en forma descentralizada?

Cuáles son los tamaños óptimos en cuanto a equipos para comunidades pequeñas?

Cuáles son las oportunidades para uso final de esta energía?

Cuáles son las regiones geográficas que serían apropiadas para esta tecnología?

Cómo se ha de atender al medio ambiente, sus problemas y las necesidades de conscientización?

Cuáles son los puntos de interés en cuanto a la economía, la necesidad de estimar los beneficios y usos productivos de esta energía? El financiamiento de esta energía, deberá ser no recuperable o recuperable en la forma de préstamos?

- Hay información adecuada disponible?

Se requiere asesoramiento para la planificación.

La planificación sólo puede ser tan buena cuanto la es la información que se incluye en ella. La información, si la hay, debe ser analizada de manera apropiada. Si no hay buena información disponible, entonces, qué?

- Hay necesidad de mejor comprensión y aceptación de las consecuencias sociales de los nuevos sistemas de energía.

- Los sistemas de energía deben calar con las estructuras políticas para ser aceptables. Las consecuencias sociales y las responsabilidades dentro de un sistema deben ser comprendidas en la administración del sistema. Cómo se pueden identificar y factorear las consecuencias a largo plazo en las acciones administrativas? Hay también cuestiones legales del uso de la propiedad y de las aguas y los derechos al uso de las aguas que se deben contestar.

Yo creo que hemos satisfecho los objetivos para esta conferencia/taller. Nos hemos dado cuenta con mayor agudeza de las cuestiones concernientes al desarrollo hidroeléctrico y tenemos mejor base sobre la cual proceder en el futuro. Hemos formulado las bases para una red internacional de información para soportar proyectos energéticos rurales en pequeña escala.

small communities? What are the end use opportunities of this energy? What are the geographic regions that would be appropriate for this technology? How is the environment, its problems and need for awareness, to be managed? What are the economic concerns, the need to estimate the benefits and productive uses of this energy? Should the financing of this energy be non-recoverable or recoverable in the form of loans?

- Adequate information, is it available?

It is required for assessments for planning. Planning can only be as good as the information that goes into it. Good information, if available, must also be properly analyzed. If good information is unavailable, what then?


- There is a need for social acceptance and for understanding of consequences.

- Energy systems have to fit within political structures to be acceptable. The social consequences and responsibilities within a system have to be understood in the management of the system. How can the long-term consequences be identified and factored into management action? There are also legal questions of land use and water use and water rights to be answered.

I think we have met the objectives for the workshop. We have become more aware of the issues surrounding small scale hydroelectric development and we have a better basis upon which to proceed in the future. We have the beginning of an international information network to support small scale rural energy projects.

## Recomendaciones

Basado en los hallazgos de esta conferencia, remito las siguientes recomendaciones generales básicas:


- Realizar una conferencia dentro de dos años para proseguir con el asesoramiento del estado de adelanto de los planes y programas. *Objetivo: mantenimiento del proceso de intercambio de información*
  - Implementar el desarrollo de mecanismos creativos para la asistencia financiera. Necesitamos criterio y otras normas "suaves" para el financiamiento de programas o que no se deban reembolsar. *Objetivo: Ayudar a los sistemas energéticos descentralizados de pequeña escala*
  - Utilizar métodos multidisciplinarios para el desarrollo. Es deseable la inclusión de las ciencias económicas, sociales y ambientales así como también de la ingeniería en la planificación. *Objetivo: Desarrollo regional que maximice la utilidad y el balance de los proyectos*
  - Se deben realizar esfuerzos para mejorar las técnicas analíticas. Se debe ajustar la metodología a las necesidades específicas de los diversos países. *Objetivo: Desarrollo de mejores métodos para ayudar en el proceso de tomar decisiones*
  - Se debe mejorar la cooperación institucional. Esto se requiere para la buena planificación y los esfuerzos cooperativos. *Objetivo: Implementar con éxito los programas nacionales*
  - Se deben realizar planes para desarrollar programas educacionales y de entrenamiento. Estos programas pueden ser realizados mediante programas de intercambio, seminarios, clases y paquetes de estudio. *Objetivo: Auto suficiencia.*
- El impulso para soportar el desarrollo energético en evidencia aquí, y las actividades de construcción al rededor del mundo se deben mantener y aumentar. Esta es esencialmente la recomendación primordial.
- 

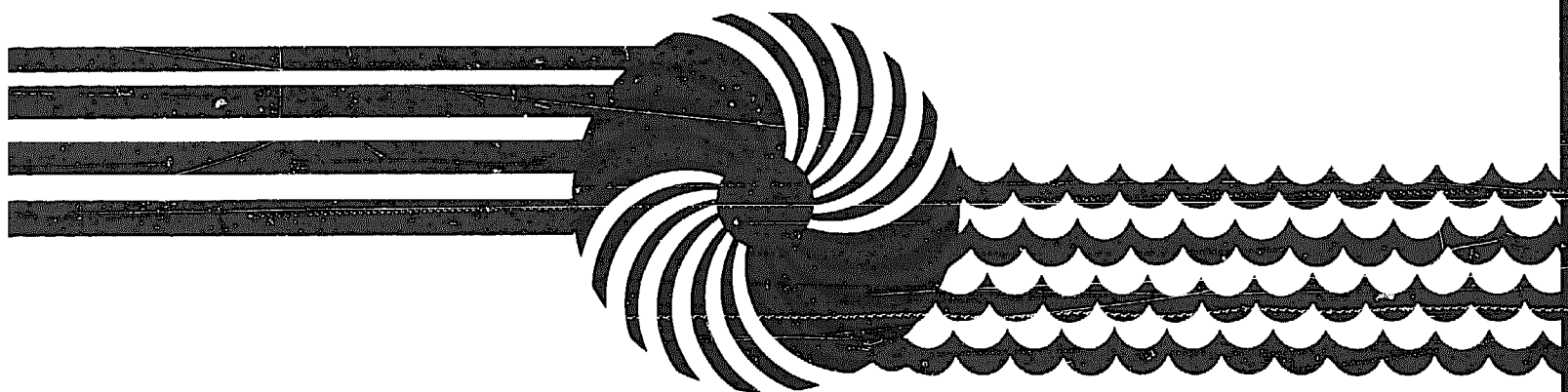
## Recommendations

Based on the findings of this workshop, I submit the following broad-based recommendations:

- A follow up conference be held in two years to access the status of plans and programs. *The goal: maintenance of the information exchange process*
- Development of creative financial assistance mechanisms be implemented. We need criteria and other guidelines for "soft" or non-repaying funding programs. *The goal: the support of small scale decentralized energy systems*
- Multidisciplinary approaches to development should be undertaken. The inclusion of the economic, social and environmental sciences as well as engineering in planning is desirable. *The goal: regional development that maximizes the utility and balance of projects*
- Efforts should be made to improve analytical techniques. Methodologies have to be adjusted to the specific needs of various countries. *The goal: development of better decision-making tools*
- Institutional cooperation should be improved. This is required for good planning and cooperative efforts. *The goal: successful implementation of national programs*
- Plans to develop educational and training programs should be made. These programs can be executed through exchange programs, seminars, lectures and study packages. *The goal: self reliance*

The momentum supporting small scale energy development evident here and the building activities around the world must be maintained and increased. That is really the primary recommendation.





**Planificación y Análisis**

**Planning and Analysis**

2



# Hidroelectricidad — Fundamento Para el Progreso

Ellis L. Armstrong

---

Somos todos vecinos conteniendo con los costos rapidamente escalantes de una fuente incierta de energía — el petroleo. No obstante, la hidroelectricidad bien establecida y actualmente eficiente, representa un metodo muy razonable para que podamos reducir nuestra dependencia del petroleo. Esta es la tesis de la presentacion del Ellis L. Armstrong. Solo 17% de la hidroelectricidad mundial utilizable ha sido desarrollado. En consecuencia, el concluye: "Debemos seguir avanzando."

---

La mayoría de los problemas de hoy día, aún cuando todos tienen foco local, se convierten en importantes problemas desde un punto de vista mundial. Especialmente desde que mi primo Neal Armstrong descendí a la luna, nuestra conscientización respecto a este mundo nuestro se hace más aguda. Lo queramos o no, estamos todos juntos en este pequeño y antiguo astronave Tierra, y juntos debemos resolver nuestros problemas. Literalmente, todos somos vecinos, casi cualquier lugar del mundo está a menos de un día de distancia del otro. Y tenemos comunicación pictórica instantánea. Lo que sucede en un lugar, sucede en todas partes, porque nos afecta a todos.

Cuando yo nací, después de 6 a 8 mil años de "civilización" que se puede reconocer como tal, había cerca de un billón y medio de población sobre nuestro planeta. Recientemente hemos pasado la marca de los 4½ billones y como al año 2020 se predice que el numero ha de ser el doble, o sea, 9 billones aproximadamente. Del total, 10% estarán en lo que llamamos el mundo industrial libre; 25% estarán en los planeados países centrales de U.S.S.R. y China y sus satélites; y 65% estarán en los países en desarrollo. Así que, como se puede ver, confrontamos problemas diferentes a los de la generación pasada. Para que la humanidad pueda sobrevivir, debemos todos estar imbuídos y profundamente envueltos en la satisfacción de las necesidades de la población de todo el mundo, y en el mejoramiento de las condiciones humanas en los países menos desarrollados.

Por siglos, cuando el hombre tenía que depender sólo de su propia musculatura para proveerle energía para adaptar el ambiente a sus necesidades, la vida era precaria, llena de temeridad, sufría muchas

# Hydropower — Fundamental For Progress

Ellis L. Armstrong

---

We are all neighbors contending with rapidly rising costs of an uncertain source of energy — petroleum. However, hydropower, well established and now efficient, represents a very reasonable method for us to reduce our dependence on oil. That is the thesis of Ellis L. Armstrong's presentation. Only 17% of the world's usable hydropower has been developed. Consequently, he concludes: "We must get going now."

---

Most of today's problems, while they all have local focus, are becoming increasingly important from a worldwide standpoint. Especially since my cousin Neal Armstrong landed on the moon, our awareness of this one world of ours has sharpened. Whether we like it or not, we are all on this little old spaceship together, and together we must resolve our problems. We are all literally neighbors; most any place on earth is less than a day away from any other place. And we have instantaneous pictorial communication. What happens anywhere, happens everywhere, for we are all involved.

When I was born, after 6 or 8 thousand years of recognizable "civilization", there were about 1½ billion people on our planet. We just recently passed the 4½ billion mark and by the year 2020 the number will likely double to 9 billion or so. Of the total, 10% will be in the so-called industrial free world; 25% will be in the centrally planned countries of U.S.S.R. and China and their satellites; and 65% will be in the developing countries. So you see, we are facing different problems than those of a generation ago. For mankind's survival, we all must be concerned and deeply involved in meeting needs of people all over the world, and in improving human conditions in the less developed countries.

For centuries when man had to rely only on his own muscles to provide energy to adapt his environment to meet his needs, life was precarious, fearful, disease ridden, and short. To survive, man had to protect himself against the cold and the heat; he had to outwit wild animals and his enemies; he had to find and safeguard

enfermedades, y era corta. Para sobrevivir, el hombre ha tenido que protegerse contra el frío y el calor; tuvo que ser más astuto que los animales salvajes y sus enemigos; tuvo que encontrar y salvaguardar fuentes de recursos para alimentos. Aun cuando algunas de las civilizaciones pasadas han dejado sus marcas, se edificaron las estructuras principalmente mediante la utilización de un suministro continuo de esclavos como bestias de carga; muchos son más bien monumentos a la miseria humana que a su grandeza.

El arreo de músculos animales ayudó a la gente a satisfacer las necesidades de números crecientes. El uso de la energía del viento para cruzar lagos y océanos proporcionó la expansión de áreas de oportunidad, así como lo han hecho flotando río abajo impulsados por la energía del agua que fluye.

Los "estados hidráulicos" utilizaron la energía del agua corriente tanto tiempo atrás como el año 4000 BC para proveer irrigación y para objetivos militares. La mecanización de la energía del agua parece haberse desarrollado como al año 1500 BC para elevar el nivel del agua. Aparecen las ruedas hidráulicas rudimentarias como al año 2000 BC y para el año 1000 de la era cristiana los molinos de granos operados por energía hidráulica eran bien comunes. El uso creciente de las turbinas de varios tipos contribuyó al avance de la industrialización como fuente de energía distinta a la producida por la musculatura del hombre y del animal, o del viento, hasta el advenimiento de la máquina a vapor al principio del siglo XIX. Las turbinas de agua en realidad propulsaron la era industrial al rededor del mundo.

En los Estados Unidos, los proyectos iniciales para el uso de la energía acuática comenzaron principalmente en el Noreste, a lo largo de las corrientes donde se utilizó la energía en el sitio mismo, al principio para los molinos de grano y los aserraderos y luego para los molinos de manufactura y fábrica. Como a 1850, las turbinas tales como las ruedas a reacción desarrolladas por James B. Francis, y las ruedas a impulso Pelton empezaron a reemplazar a las ruedas de agua debido a su mayor eficiencia. Se construyeron canales para desviar el agua fuera de los bancos del río a mejores sitios para los molinos. No obstante, después de 1860 la energía acuática fue desplazada ya que escaseaban lugares que se adecuaban a las limitaciones de la transmisión mecánica de energía, y las máquinas a vapor, con su mayor flexibilidad, iban mejorando tanto en economía como en su dependabilidad.

food sources. While some of the past civilizations have left their marks, the structures were mainly built by utilizing a continuing supply of conquered slaves as beasts of burden; many are monuments more to human misery than to grandeur.

Harnessing animal muscles helped people meet the needs of growing numbers. Using the energy of the wind to push ships across lakes and oceans expanded the areas of opportunity, as did floating down rivers propelled by the energy of flowing water.

The "hydraulic states" used the energy of flowing water as early as 4000 BC to provide irrigation and for military purposes. Mechanization of water power appears to have developed about 1500 BC to raise water to a higher level. Water-wheels of sorts appeared about 2000 BC and by 1000 AD water powered grist mills were quite common. Increasing use of water wheels of various types contributed to the advance of industrialization as the source of energy, other than man and animal muscle power and wind, until the advent of the steam engine in the forefront of the 19th Century. Water wheels actually launched the industrial age around the world.

In the United States, the early water power projects were mostly in the Northeast along the streams where the power was used directly at the site, initially for grist and saw mills and then for manufacturing and fabricating mills. About 1850, turbines, such as the reaction wheel developed by James B. Francis, and the impulse Pelton wheel, began to replace water wheels because of increased efficiency. Canals were built to divert water beyond river banks to better mill sites. However, after 1860, water power lagged as suitable sites within the limitations of mechanical power transmission were scarce, and steam engines, with their greater flexibility, were improving in both economy and dependability.

With the advent of electricity in the 1880's and transmission capabilities starting to develop in 1890, many small scale hydropower plants began to be built, primarily in the West. For instance, in my home state of Utah, nearly every town along the Wasatch Mountains diverted the small streams along the walls of the steep canyons to the canyon mouth, where the head was used to generate electricity which was distributed within the small town area. This required a minimum of

Con el advenimiento de la electricidad en los 1880's, y el principio de la evolución de la transmisión de capacidades en 1890, se empezó a construir muchas plantas hidroeléctricas de pequeña escala, especialmente en el Oeste. Por ejemplo, en el estado de Utah donde vivo, casi cada villa a lo largo de las Montañas Wasatch, desviaron las pequeñas corrientes a lo largo de las paredes de los cañones profundos hacia las bocas del cañón donde utilizaron la caída para generar electricidad que fué posteriormente distribuida dentro de la pequeña villa. Esto ha requerido un mínimo de tecnología, y ha suministrado energía eléctrica para la iluminación y para reemplazar la fuerza de la musculatura humana en las pequeñas industrias. A medida que aumentaba la población, estas instalaciones en pequeña escala fueron absorbidas por los sistemas mayores; algunas fueron abandonadas por causa de los altos costos de operación para la pequeña cantidad de energía producida. No obstante, algunos están en pleno proceso de rejuvenecimiento por causa de los elevados costos del petróleo y otros recursos de energía.

En el Noreste de los Estados Unidos gradualmente se engancharon las ruedas de agua y las turbinas a los generadores y miles de plantas generadoras en pequeña escala contribuyeron al rápido crecimiento de la industria. No obstante, hace como 25 años, la mayoría de las plantas pequeñas fueron abandonadas debido al más bajo costo de la electricidad suministrada por sistemas mayores. Hoy día estamos en proceso de reconstrucción y rejuvenecimiento de estas pequeñas centrales porque la economía se ha vuelto favorable y porque la energía acuática representa una fuente de energía local, continuamente renovable y de la cual se puede depender.

### **Ventajas de la Hidroelectricidad**

Aunque la cantidad de energía producida y el potencial son impresionantes, la hidroelectricidad como fuente de energía tiene otras ventajas importantes. Es un *generador de energía que no se consume*, que utiliza una fuente limpia, continuamente renovable por la energía del sol que crea y sostiene el ciclo hidrológico. Esencialmente *no ocasiona polución* y no desplaza calor. Es una *fuente de energía de la cual se puede depender*, dentro de las limitaciones hidrológicas del lugar. La simplicidad relativa de la maquinaria hidráulica permite la disponibilidad instantánea de la energía cuando se la necesite. Como no se requiere calor, el equipo dura mucho tiempo y su malfuncionamiento es raro.

La generación de hidroelectricidad requiere algún tipo de control acuático, variando hasta el control

technology and provided electric power for lighting and to replace the muscle power of people in small industries. As populations increased, these small scale installations were absorbed into the larger systems; some were abandoned because of high operating costs for the small amount of power produced. However, some are now being rejuvenated because of the increasing costs of oil and other energy resources.

In the Northeast part of the United States, the water wheels and turbines were gradually hooked to generators and thousands of small scale generating plants contributed to the rapid growth of industry. However, by about 25 years ago, most of the small plants had been abandoned because of less-cost electricity becoming available from large systems. Today we are in the process of rebuilding and rejuvenating these small sites because the economics has become favorable and because water power represents a local, continually renewable and dependable source of energy.

### **Hydropower Advantages**

While the amount of energy produced and the potential are impressive, hydropower as an energy source has other important advantages. It is a *non-consumptive generator of energy*, utilizing a clean resource, continually renewable by the energy of the sun which creates and sustains the hydrological cycle. It is essentially *non-polluting* and no heat is released. It is a *reliable energy source* within the hydrological limitations of the site. The relative simplicity of hydraulic machinery makes energy instantly available as needed. As no heat is involved, equipment has a long life and malfunctioning is rare.

The generation of hydropower requires some type of water control, ranging up to full control of the discharge from a watershed, thus it is an *important part of the multipurpose utilization of water resources* and reduces the potential of destruction from floods. Water out of control is mankind's most destructive force. With storage facilities, floodwaters are retained and better utilized for food production; for river regulation, improving navigation, fish and wildlife, and recreational potential; for municipal use and better control of wastewaters; and the destructive force of flood flows, as well as the energy of normal flows, is harnessed to provide electrical energy for man's use.

total de la descarga de una vertiente, de tal modo que es una *parte importante de la utilización de los recursos acuáticos para propósitos múltiples* y reduce la posibilidad de la destrucción por causa del desborde. El agua fuera de control es una de las fuerzas más destructivas de la humanidad. Mediante las facilidades para el acopio, se contienen e utilizan mejor las aguas de las inundaciones para la producción de alimentos, para la regulación de los ríos, mejoramiento de la navegación, peces y vida silvestre, y para el potencial recreativo; para uso municipal y mejor control de las aguas de desperdicio; y la fuerza destructiva de los desbordamientos, así como la energía del flujo normal, se controlan para suministrar energía eléctrica para el uso del hombre.

Se la puede producir en instalaciones pequeñas en áreas remotas de los países en desarrollo con una *tecnología relativamente simple*, y puede ser un catalizador para el desarrollo de otras fuentes y la creación de oportunidades para el mejoramiento de las condiciones humanas, como se ha demostrado en el pasado. Como ya se ha dicho, así sucedió en los Estados Unidos y está resultando verídico en otras partes del mundo. Por ejemplo, en China, durante las dos últimas décadas se han construido más de 85,000 pequeñas plantas hidroeléctricas con una capacidad media de 60 kilowatts. Mientras se reconoce que estas pequeñas unidades constituyen el primer paso, ellas han dado impulso al mejoramiento de las condiciones humanas y posibilitan el continuo progreso y mejoramiento.

Su *dependabilidad y flexibilidad de operación*, incluyendo arranques y cierres rápidos para responder a cambios súbitos en la demanda, la convierten en una parte especialmente valiosa de un sistema eléctrico mayor, aumentando en general la economía, eficiencia y dependabilidad de todo el sistema. Tiene una *excelente capacidad de energía de punta*, por las razones descritas arriba. El almacenaje de energía mediante sistemas de acopio por bombeo es el método más económico y libre de dificultades, disponible a la fecha para uso en gran escala. Mientras se requieren cuatro unidades de energía de ingreso es de bajo costo y la energía de salida es de alto valor para satisfacer las cargas de punta. Aun así, en un sistema eléctrico mayor, la alternativa para las cargas de punta puede ser la utilización de unidades termales antiguas y relativamente ineficientes; en dichos casos el uso del almacenaje por bombeo puede resultar en un ahorro total de energía. En áreas de topografía plana, hay

It can be made available in small installations at remote areas of developing countries with *relatively simple technology*, and can be a catalyst in developing other resources and creating opportunities for improving human conditions, as has been demonstrated in the past. As discussed, this was true in America and is proving to be true in other areas of the world. For instance, in China during the last two decades, over 85,000 small hydroelectric plants have been constructed, with an average capacity of about 60 kilowatts. While these small units are recognized as a first step, they have done much to improve human conditions and make further progress and improvements possible.

Its *reliability and flexibility of operation*, including fast startup and shutdown time in response to rapid changes in demand, makes it an especially valuable part of a large electrical system, increasing the overall economy, efficiency, and reliability of the entire system. It has *excellent peaking power capability* for the reasons outlined above. Storage of energy by pump storage systems is the most economical and trouble-free method available to date for large-scale use. While about four units of energy input is required for three units of output, the input is low-cost energy and the output is high-value energy meeting peak loads. Even so, in a large electrical system, the alternative for peak loads may be the utilization of old and relatively inefficient thermal units. In these instances, the use of pump storage can result in overall savings of energy. In flat topography areas, all underground pump storage facilities have potential.

Its *technology is well-developed and proven*, with efficiencies of turbines now as high as 95%. Units ranging from a few kilowatts up to 700,000 kilowatts are in operation and, while the equipment must be adapted to the specific site for greatest efficiency, full reliance can be placed on performance expectations. Hydropower *facilities have a long life*; dams and control works will generally perform for a century or more with little maintenance required. As no fuel is required, and heat is not involved, operating costs are low for hydropower. Because of this and the long life of the facilities, a *hydropower installation is essentially inflation-proof*.

Hydropower development makes *maximum use of local materials and labor*, and thus compared to heat-power facilities, usually is

potencial para todas las facilidades de almacenaje bajo tierra.

Su *tecnología bien desarrollada y comprobada*, hoy día produce turbinas con eficiencia de hasta 95%. Hay unidades en operación que varían de unos pocos kilowatios hasta 700,000 kilowatios, y aunque el equipo debe ser adaptado a los lugares específicos para obtener máxima eficiencia, se puede depender de la satisfacción de los niveles de funcionamiento esperado. La hidroelectricidad usa *facilidades que tienen larga duración*; los trabajos civiles de contención y control por lo general funcionarán por un siglo o más, requiriendo poco mantenimiento. Como no se requiere combustible, y no hay necesidad de calor, los costos de operación para la hidroelectricidad son bajos. Por esta razón y por la larga duración de las facilidades, una *instalación hidroeléctrica está esencialmente protegida contra la inflación*.

*El desarrollo de la hidroelectricidad utiliza al máximo materiales y mano de obra locales*, y así, comparada con las facilidades termales, usualmente es mucho más apropiada para los programas en los países en desarrollo. Este es un factor de mayor influencia para el gran número de instalaciones hidroeléctricas pequeñas en la China. Una *vasta cantidad de hidroelectricidad todavía queda por ser utilizada*, especialmente en los países en desarrollo, los cuales como promedio han desarrollado menos que 7% de su potencial; en algunos países es menos que 2%. La *factibilidad económica de la hidroelectricidad está mejorando*, comparada con otras fuentes de energía que utilizan combustibles que se pueden agotar. La *hidroelectricidad se hace más atractiva por la metodología más realista de evaluación económica*, incluyendo completo reconocimiento del valor de no utilizar fuentes que se puedan agotar; de no estar dependientes de combustibles controlados por los demás, y de un generador de energía que no produce polución. En los países más desarrollados, con los cambios que ocurren en la hidrología de las cuencas de los ríos, al presente existe gran potencial para que las centrales de energía y las represas sin instalaciones hidráulicas se conviertan a la producción hidráulica con costos mínimos de capital o energía. También los adelantos en la eficiencia de la turbina y el generador hacen que el mejoramiento de muchos de los equipos de las instalaciones existentes resulte especialmente atractivo.

much more appropriate in developing country programs. This is a major factor for the large number of small hydro installations in China. A *vast quantity of hydropower remains to be utilized*, especially in the developing countries, which on the average have developed less than 7% of their potential; in some countries it is less than 2%. The *economic feasibility of hydropower is improving* compared to other energy sources which use finite fuels. With more realistic methodology of economic evaluation, including full recognition of the value of non-use of depletable resources; of not being dependent upon fuel resources controlled by others; and of a non-polluting generator of energy; hydropower becomes increasingly attractive. In more developed countries, with changes occurring in river basin hydrology, *great potential exists at present powerhouses and at dams* without hydro installations for hydro production with minimum capital or energy costs. Also improvements in turbine and generator efficiency makes upgrading of many present equipment installations especially attractive.

con un potencial de generación anual de cerca de 10 millones de gigawatts hora de energía eléctrica. Esto equivale aproximadamente a 40 millones de barriles de petróleo por día quemados en una planta a generación térmica y así aumenta su importancia a medida que utilizamos nuestro abastecimiento exterminable de combustible de origen fosil.

barrels of oil per day burned in a heat-power plant and thus is of increasing importance as we use up our finite, non-renewable fossil fuel supplies.

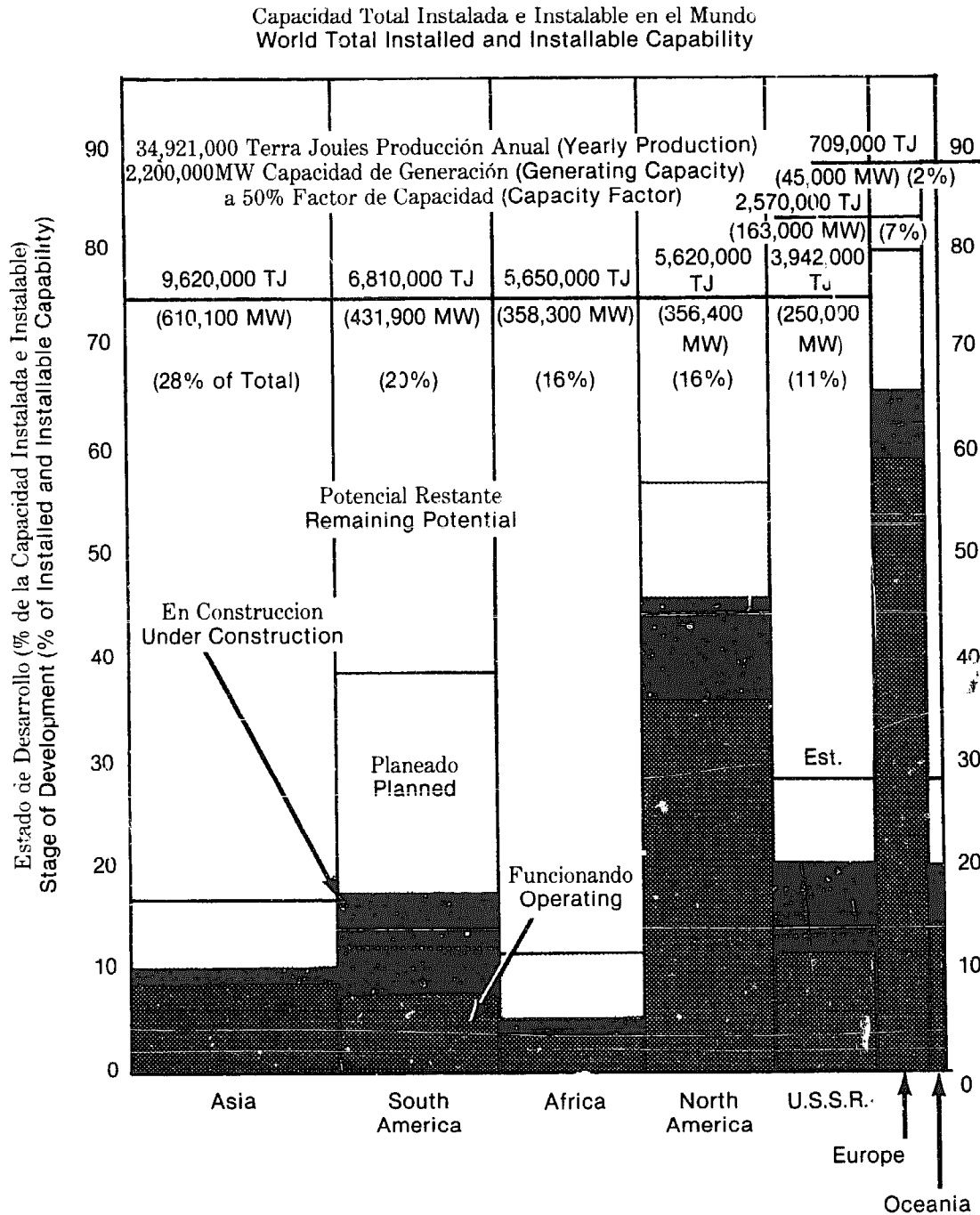


Figura 1. Recursos Hidroeléctricos Mundiales  
Figure 1. World Hydropower Resources

## Desarrollo de la Hidroelectricidad

La Conferencia Mundial sobre Energía, una organización de 80 naciones, fundada en la década de los 1920's, de la cual el Ecuador es un miembro, estableció una Comisión Internacional sobre Conservación de Energía en 1974. La Comisión fué la de determinar tan objetiva y factualmente como fuere posible, las fuentes de energía del mundo; investigar los métodos como se pudieran realizar mejoras en el desarrollo y la utilización de dichos recursos; asesorar las posibilidades de substituir otras fuentes de energía por el combustible; evaluar el extento probable al cual las medidas de conservación pudieran reducir las demandas de energía; y luego determinar cuáles serían aproximadamente las necesidades mundiales de energía y los métodos como se las podría satisfacer. La Comisión de Conservación, incluyendo los verificadores de los estudios, totalizó 80 miembros, y en adición se formularon grandes grupos de tareas específicas en las áreas de combustible, carbón, gas natural, energía nuclear, hidráulica, fuentes no convencionales (tales como solar, biomasa, viento, geotérmica, oleaje), conservación y demandas de energía. Estos grupos incluyeron la gente que consideramos ser los mejor informados en el mundo. Yo tuve el privilegio de encabezar el grupo de estudio de los recursos hidroeléctricos. Los estudios se completaron y se publicaron los resultados.

Estos estudios, en mi opinión, presentan el primer análisis que abarca el campo total de las fuentes de energía del mundo y sus demandas proyectadas sobre las cuatro décadas próximas, en una forma objetiva y completa.

Los resultados de dichos estudios indican que la hidroelectricidad provee actualmente 23% de la electricidad en todo el mundo. En países individuales, la cantidad varía de 100% en algunas de las áreas más remotas a cantidades omisibles en los países ricos en petróleo del Medio Oriente. En los Estados Unidos, la hidroelectricidad provee actualmente un 13% de nuestra electricidad. En todo el mundo, la cantidad desarrollada es de aproximadamente 17% de lo que razonablemente se considera desarrollable. (Lo que se considera desarrollable se estima que constituye solo un 12% de la energía teórica total de todos los ríos y arroyos que corren en el mundo.)

La Figura 1 ilustra gráficamente el potencial hídrico en varias áreas del mundo y las cantidades que se han desarrollado, están en construcción, se planea su desarrollo con un programa definitivo y la cantidad restante. Nótese que el total que se considera desarrollable es de 2.2 millones de megawatts

## Hydropower Development

The World Energy Conference, and 80-nation organization founded in the 1920's and of which Ecuador is a member, established an International Commission on Energy Conservation in 1974. The charge was to determine as objectively and factually as possible, the energy resources of the world; investigate ways improvements in development and utilization of these resources could be accomplished; assess possibilities of substituting other energy resources for oil; evaluate the probable extent conservation measures could reduce energy demands; and then determine what the energy needs worldwide would most likely be and the ways they could be met. The Conservation Commission, including the study reviewers, totaled 80 members, and in addition large task forces were formulated in the areas of oil, coal, natural gas, nuclear, hydraulic, unconventional resources (such as solar, biomass, wind, geothermal, waves), conservation, and energy demands. These included people we considered the most knowledgeable in the world. I had the privilege of heading up the hydropower resources task force study. The studies have been completed and the results published. These studies, I believe, present the first fully comprehensive, objective, authoritative analysis of the world's energy resources and the demands for the next four decades.

The results of the studies show that hydropower now provides 23% of electric power worldwide. In individual countries, the amount ranges from 100% in some of the more remote areas to negligible amounts in the Middle East oil-rich countries. In the United States, hydropower now provides about 13% of our electricity. Worldwide the amount developed is about 17% of that considered reasonably developable. (That which is considered developable is estimated to be only about 12% of the total theoretical energy in all the world's rivers and streams.)

Figure 1 graphically illustrates the hydro potential in various areas of the world and the amounts that are developed, under construction, planned for development in a definitive schedule, and the amount remaining. Note the total considered developable is about 2.2 million megawatts with a yearly production potential of nearly 10 million gigawatt hours of electrical energy. This is equal to approximately 40 million

## Necesidad Fundamental de Hidroelectricidad

El número creciente de la población de todo el mundo, al cual nos hemos referido, nos presenta a todos un desafío sin precedente. Para satisfacer las necesidades de estos números en aumento, se requiere producción adicional de alimentos, viviendas, transporte y facilidades industriales, y una mayor, mejor y más eficiente utilización de nuestros recursos naturales. Al mismo tiempo, debemos proteger nuestro ambiente natural para preservar nuestros sistemas globales de soporte para la vida. La satisfacción de estas necesidades requiere un aumento en el uso de la energía.

Como se ve, la "capacidad para soportar a la población" de un área depende de cómo adaptamos el ambiente para hacerlo compatible a nuestra sobrevivencia y de cómo desarrollamos y utilizamos nuestros recursos naturales. Hemos construido la base física de nuestras civilizaciones sin toques de trompetas dado que hemos tenido amplio margen para corregir errores. Pero esos días pasaron a la historia. La adaptación de nuestro medio hoy día requiere más esfuerzo y afecta a más y más gente. Los efectos de la polución aumentan y demandan más energía para su rectificación. Los recursos minerales requieren más energía para explotar y refinar. El aumento de la producción en nuestros campos óptimos, y luego preservar la calidad y entregar a los consumidores con un mínimo de desperdicio, requiere más energía.

Actualmente confrontamos una crisis de energía a escala mundial debido a nuestra sobredependencia de los abastecimientos petroleros extinguidos, que al presente abastecen como la mitad de nuestra energía, con la creciente energía requerida para satisfacer las necesidades de la población en constante aumento y sus luchas para superar la pobreza, y las enfermedades, y la muerte a edad temprana, y la necesidad de hacer que la vida valga la pena vivirla. Esto fué enfocado con suma agudeza por nuestro Estudio de la Comisión de Conservación, así como por muchos otros análisis.

La línea de fondo de nuestro Estudio de la Comisión de Conservación es esencialmente que contamos con recursos energéticos para satisfacer las necesidades mundiales y que en general tenemos la tecnología y la capacidad. No estamos en el día del juicio final, pero debemos tomar acción ahora. Mientras desde un punto de vista realista debemos depender principalmente de los recursos de carbón y energía nuclear por aproximadamente las próximas

## Fundamental Necessity of Hydropower

The increasing number of people all over the world, which we have discussed, presents all of us with an unprecedented challenge. To meet the needs of these increasing numbers requires additional food production, housing, transportation and industrial facilities, and greater, better and more efficient utilization of our natural resources. At the same time, we must protect our natural environment to preserve our overall life-support systems. To meet these needs requires increasing uses of energy.

You see, the "people carrying capacity" of an area depends upon how we adapt the environment to make it compatible to our survival and on how we develop and utilize our natural resources. We have built the physical base of our civilizations without much fanfare as we have had wide margins for error. But those days are gone. Adapting our environment now requires more effort and affects more and more people. Pollution effects increase and require more energy to rectify. Mineral resources require more energy to mine and refine. Increased production from our farmlands, along with capability to cultivate and gather at optimum harvest time, and then to preserve quality and deliver to the consumer with minimum waste, requires more energy.

With our overdependence on finite oil supplies, which now provides about half our energy, and with increasing energy required to meet the needs of ever-greater numbers of people and their struggles to overcome poverty and disease and early death and make life worthwhile, we now face an energy crisis on a worldwide scale. This was brought into sharp focus by our Conservation Commission Study, as well as by many other analyses.

The bottom line of our Conservation Commission study is essentially that we have the energy resources to meet the worldwide needs and that we generally have the technology and the capability. It is not doomsday, but we must get going now. While from a realistic standpoint, we must depend mainly on coal and nuclear energy resources for the next two decades or so to fill the gap created by oil and gas shortfalls, we must push the other energy resources also, and especially our renewables such as hydropower.



dos décadas para cubrir el vacío dejado por el petróleo y la escasez del gas, debemos dar impulso a las otras fuentes de energía también, y especialmente a las renovables, tal como lo es la hidroelectricidad.

La demanda mundial de petróleo, sin constricciones políticas, tiene la posibilidad de exceder la capacidad total de producción más o menos por 1990, cuando la capacidad de producción baje de súbito a 40 o 50 millones de barriles por día. Desde luego que hay incertidumbres, pero esto representa el conocimiento y juicio combinado de, por lo menos algunos de los expertos mundiales mejor informados y con conocimiento. La información supone la construcción de plantas nucleares y a combustión de carbón al nivel planeado; el aumento de la eficiencia en el uso de la energía y en la conservación al punto que la economía no sufra grandes efectos adversos; que las otras fuentes de energía han de continuar desarrollándose y que el precio del petróleo ha de alcanzar a \$20 por barril en 1985. En general, ya estamos a nivel de \$30+ y esto podría mover hacia adelante el punto de cruce de las curvas como por dos o tres años.

Se analizaron intensamente un gran número de escenarios, pero esto representa lo que yo creo que tiene mayor posibilidad de ocurrir. Aún si ocurriera un receso económico mundial, el punto de cruce se movería para adelante como diez años. Nótese que actualmente estamos usando 60 millones de barriles de petróleo por día, lo cual constituye el tope de la curva de la demanda de petróleo. Si no tenemos suficientes otras fuentes de recursos de energía para llenar el vacío que se ensancha entre la demanda y el suministro del petróleo, lo cual podría ocurrir dentro de 10 a 15 años, la situación podría ser muy seria y sentiríamos la amenaza de un caos económico y social en todo el mundo.

La capacidad física para producir petróleo es 15 a 20% más que la demanda presente de petróleo, principalmente por causa de la producción adicional que Saudi Arabia podría abastecer. Esto tiende a dar un falso sentido de seguridad.

Otro punto adicional: lo expresado anteriormente representa la situación de todo el mundo. Cada uno de los países que dependen esencialmente de la importación del petróleo de OPEC, están en posición mucho más vulnerable. Todos esperamos que los países de la OPEC mantengan estabilidad política, pero ustedes saben del riesgo lo mismo que yo.

En los Estados Unidos, dependemos ahora de la importación de más o menos la mitad de nuestro petróleo. Cuando tuvimos la escasez del 3% como

The worldwide demand for oil, without political constraints, is likely to exceed the total production capability about 1990, as production capability drops off rather sharply to 40 or 50 million barrels a day. Of course there are uncertainties, but this represents the combined knowledge and judgement of some, at least, of the world's most informed and knowledgeable experts. The data assumes construction of nuclear and coal fired plants at the rate planned; increase in efficiency in use of energy and in conservation to the extent that the economy is not greatly adversely affected; that other energy sources would continue to be developed; and that the price of oil would reach \$20 per barrel by 1985. We're already at the \$30+ level generally, and this might move the break point ahead two or three years.

A large number of scenarios were intensively analyzed, but this represents what I believe is most likely to occur. Even with worldwide recession, the break point is only moved ahead about 10 years. Note that we are now using 60 million barrels of oil per day, which is at the upper edge of the oil demand curve. Not having enough other energy resources to fill the widening gap between demand and supply of oil that is likely to occur in about 10 to 15 years would be serious and threaten worldwide economic and social chaos.

The physical capability of producing oil is 15 to 20% more than the present oil demand, principally because of the additional production that Saudi Arabia could provide. This tends to give a false sense of security.

One more point — what I have said represents the overall worldwide situation. Individual countries which greatly depend upon importing OPEC oil are in much more vulnerable positions. Political stability is what we hope for in the OPEC countries, but you know the risk as well as I do.

In the United States, we now are dependent upon importing about half of our oil. When we had the 3% shortfall resulting from the revolution in Iran last year, many people in the long gas lines that developed did not always display rational behavior. A colleague of mine came up with a design of a car which he says is guaranteed to get you to the head of the next long gas line — that is, until too many others get the same model. And on a worldwide basis,

resultado de la revolución en irán del año pasado, de las muchas personas en las largas colas que se formaron, no todas exhibieron un comportamiento racional. Un colega mío se presentó con el diseño de un coche que según él dice, le garantiza llegar a la cabeza de la próxima cola larga para la gasolina — eso es, hasta que los demás se vengan con el mismo modelo. Y en base mundial, hay armas disponibles que son mucho más eficientes, efectivas y más mortíferas que esas. Y cuando el acceso a la energía es cuestión de mera sobrevivencia, como lo es en muchas áreas del mundo, la pérdida de dicho acceso no promueve la paz y la tranquilidad.

Así pues, debemos impulsar el desarrollo de otras fuentes de energía distintas del petróleo. Donde exista el potencial para la hidroelectricidad, como en el Ecuador, su desarrollo debe recibir alta prioridad por las razones antes expuestas. Más tarde se pueden desarrollar otras fuentes de energía más complejas. Lo mismo se aplica a muchas otras áreas del mundo donde el mejoramiento de las condiciones humanas está en progreso. La hidroelectricidad es la base esencial para avanzar.

Por estas razones, me complace participar en conferencias tales como ésta. Mediante la agrupación cooperativa de nuestros esfuerzos, nuestros conocimientos y nuestra tecnología, podemos convertir la tierra en un mundo magnífico para la gente en todas partes. Por primera vez en la historia, podemos arriesgarnos a pensar en la buena vida para la gente de toda la superficie de la tierra. Tenemos la capacidad, tenemos la tecnología, tenemos los recursos básicos. Todo lo que necesitamos es aplicar lo que sabemos acerca de la incumbencia y el esfuerzo cooperativos; acerca de la utilización del potencial que realmente existe en la gente; acerca de unas guías positivas para la solución de nuestros problemas. *Y luego, a trabajar!* Podemos crear un futuro lleno de entusiasmo y excelentes perspectivas. Todo depende de ustedes y de mí y de todos los habitantes de todo este mundo.

weapons are available which are much more efficient, effective, and deadly than these guns. And when access to energy is a matter of stark survival, as it is in many areas of the world, the loss of that access does not promote peace and tranquility.

Thus we must push the development of energy sources other than oil. Where hydropower potential exists, such as in Ecuador, it's development must receive high priority for the reasons discussed. Other more complex sources of energy can come later. The same is true in many other areas of the world where progress in bettering human conditions is underway. Hydropower is a basic essential to moving ahead.

For these reasons, I am delighted to participate in conferences such as this. By cooperatively pooling our efforts and our knowledge and our technology, we can make this a wonderful world for people everywhere. For the first time in history, we can dare to think of a good life for people everywhere on earth. We have the capability, we have the technology, we have the basic resources. All we need is to apply what we know about cooperative effort and concern; about utilizing the potential that really exists in people; about a positive approach to solving our problems. *And then get with it.* It can be an exciting and wonderful future. It's up to you and me and all the rest of us all over the world.

# Estudios Hidrológicos Para Asesoramiento de la Hidroenergía

John Stuart Gladwell

---

John S. Gladwell trae una orientación "comercial" junto con la de ingeniería en su presentación de los estudios que preceden a la construcción de una facilidad hidroeléctrica. Por causa de esta orientación dual, él enlaza las informaciones técnicas de la ingeniería con las precauciones desarrolladas mediante la experiencia.

---

## Introducción

Como la mayoría de la gente sabe, el negocio del abastecimiento de electricidad ha venido experimentando cambios revolucionarios en la actitud en todo el mundo. Por una parte, existe el llamado a incrementar el desarrollo de bloques con capacidad de energía extremadamente grandes — una tendencia que yo he llamado, quizás no muy generosamente, la mentalidad con "fijación única." En el otro extremo, tenemos aquellos que ignorarían en su totalidad los vastos desarrollos de energía en favor de lo que ellos ven como "alternativas" de conservación energía solar pequeñas centrales hidroeléctricas, etc.

Cada grupo de partidarios tiende a tener su propio conjunto de "pruebas" que demuestran que ellos están correctos en sus suposiciones. Yo creo que la manera más racional de abordar este asunto y el desafío más grande para el mundo de hoy es el de desarrollar un futuro con energía balanceada, tomando en cuenta la utilización más apropiada y razonable de todos sus recursos.

La hidroelectricidad es uno de esos recursos de energía. Bien pudiera ser que este recurso no siempre sea necesario desarrollarlo primero — sin embargo, apartarlo a un lado arbitrariamente sólo porque no resuelve completamente el problema, sería visualizar la situación energética mundial de una manera increíblemente ingenua. De hecho, con los costos de energía "combustible" escalando rápidamente, se incrementa grandemente la oportunidad económica para ampliar el desarrollo de fuentes alternas que utilicen recursos renovables.

En algunas partes del mundo la importancia de una pequeña planta hidroeléctrica no posee todavía

# Hydrologic Studies for Hydropower Assessment

John Stuart Gladwell

---

John S. Gladwell brings a "business" orientation as well as engineering to his discussion of the studies that must precede construction of a hydropower facility. Because of his dual orientation, he brings together hard engineering information and the cautions developed with experience.

---

## Introduction

The electricity supply business throughout the world has, as most people are well aware, been undergoing some revolutionary changes in attitude. We have on the one hand the call for increased development of extremely large blocks of power capacity — a tendency that I have, perhaps not too generously, entitled the "single fix" mentality. On the other extreme we have those who would ignore the large energy developments entirely in favor of what they see as the "alternatives" of conservation, solar, small hydro, etc.

Each group of advocates tends to have its own set of "proof" to show they are correct in their assumptions. I believe the more rational approach, and the great challenge for the world today, is to develop a balanced energy future, taking into account the most appropriate and reasoned use of all of its resources.

Hydro is one source of energy. It may not always be the source that needs to be developed first — but to arbitrarily cast it aside because it doesn't completely solve the problem is an incredibly naive view of this world's energy situation. The fact is, that with the rapidly escalating costs of "fueled" energy, the economic opportunity for expanded development of the alternative sources using renewable resources is greatly increased.

In some areas of the world, the importance of small hydro may not yet be quantitatively or economically advantageous to warrant its serious consideration at this time. But in many areas, even though the overall percentage of

las ventajas cuantitativas y/o económicas que justifiquen su consideración sería en estos momentos. Sin embargo, en muchas otras partes, aunque el porcentaje total garantizado por la pequeña planta hidroeléctrica sea pequeño, su valor marginal podría ser mucho más grande. En algunas partes del mundo la planta hidroeléctrica, particularmente la pequeña/mini-hydro, ofrece contribuciones sustanciales y prácticas a los problemas locales de energía. Además, debido a que los sistemas hidroeléctricos son intensivamente bienes de capital en relación a sus costos operacionales, tienden a poseer en sí protección contra la inflación. Una vez contruida, el combustible — el agua del río — es esencialmente gratis. Por lo tanto, se debe dar seria consideración a una inversión para levantar una encuesta sobre las potencias de los recursos hidroeléctricos.

Un factor importante que debe recordarse es que con una producción de aproximadamente 650 kWh en una planta hidroeléctrica en cualquier parte del mundo, se reduce el requerimiento de petróleo (o de su combustible equivalente) a un barril menos. Si uno pertenece a una nación sin recursos de petróleo esa diferencia es muy significativa. Y si posee reservas de petróleo, esto significa que tales reservas pueden van a perdurar más tiempo y que pueden ser utilizadas para otros fines más valiosos. Además, aunque la inflación hasta cierto punto es una reflexión de la rapidez con que los costos del petróleo están creciendo, un factor importante que no debe soslayarse es que el petróleo es un recurso limitado, no renovable, con una gran demanda. No hay manera que uno pueda realísticamente esperar que a largo plazo el precio de petróleo baje; lo único que puede ocurrir es que aumente.

Una de las primeras cosas que un país puede hacer es asesorar sus oportunidades para desarrollar fuentes alternativas de energía. En la hidroelectricidad, los estudios hidrológicos son fundamentales al proceso.

that generated by small hydro may be small, its marginal value may be much greater. In some areas of the world, hydro — particularly small/mini hydro — offers a substantial and practical contribution to local energy problems. Furthermore, because hydro systems are capital intensive relative to operational costs, they tend to have built-in inflationary protection. Once built, the fuel — river water — is essentially free. Thus, a hydroelectric resource potential survey is an investment that should be given serious consideration.

An important fact that must be remembered is that around 650 kWh production at a hydro plant almost anywhere will reduce the requirement for oil (or its fuel equivalent) by one barrel. If you are not an oil-rich nation, that should be significant. If you have oil reserves, it means they will last longer and be available for other, higher valued, purposes. Furthermore, although the rapidly rising cost of oil certainly reflects inflation to some extent, an important factor not to be overlooked is that oil is a limited non-renewable resource with a large demand. There is no way, in the long run, that the price (value) can realistically be expected to do anything but increase.

One of the first things a country can do is to assess its opportunities for developing alternative energy sources. In hydropower, the hydrologic studies are basic to the entire process.

## Consideraciones Hidráulicas Fundamentales

La tecnología de la energía hidroeléctrica tiene ya bastante tiempo en existencia. Los principios fundamentales son bastante simples:

$$P_{kW} = \frac{QHe}{11.81} \text{ (Unidades Inglesas)}$$

donde,

$P_{kW}$  es energía en kilovatios,

$Q$  es el flujo de agua en pie cúbico por segundo,

$H$  es la caída efectiva disponible a la turbina/generador en pies, y

$e$  es la eficiencia total de la turbina/generador.

o  $P_{kW} = 9.81 QHe$  (unidades métricas)

donde,

$P_{kW}$  es energía en kilovatios,

$Q$  es en metros cúbicos por segundo,

$H$  es la caída efectiva en metros, y

$e$  es, igual que antes, la eficiencia del sistema.

Por lo tanto, lo primero que un ingeniero debe determinar es (1) cuál es la cantidad de agua disponible en un río (y cuándo), y (2) cuál es la caída potencialmente disponible (y cuándo). Partiendo de esta información básica, él empezará a considerar varias configuraciones para las represas, tuberías de carga, etc. — incluyendo el tipo y número de turbinas — para así poder minimizar los costos y asimismo producir la cantidad de energía deseada. El ingeniero normalmente concibe cierto número de configuraciones posibles cada una de las cuales debe ser evaluada detalladamente.

Las turbinas que un ingeniero ha de considerar para un sistema moderno, pertenecen básicamente a dos categorías: A Impulso y de Reacción. Existen diferencias fundamentales en sus características que deben ser comprendidas.

**Turbinas de Impulsión.** En esta clase de turbinas existen unos "cubos" en la periferia de una rueda que son movidos por la fuerza de un chorro de agua (o grupo de chorros). La caída disponible se convierte a energía cinética, una porción de la cual crea la torsión. Generalmente, las turbinas a impulso se usan con altas caídas, aunque existe por lo menos un diseño moderno que es utilizado eficientemente en urbanizaciones comerciales cuyo rango es de baja caída. Para sistemas "mini" de baja caída la turbina Banki ha sido recomendada en muchas publicaciones.

## Basic Hydraulic Considerations

Hydroelectric energy technology has been around for a long time. The basics are rather simple:

$$P_{kW} = \frac{QHe}{11.81} \text{ (English units)}$$

where,

$P_{kW}$  is power in kilowatts,

$Q$  is water flow rate in cubic feet per second,

$H$  is the net head available to the turbine/generator in feet, and

$e$  is the overall turbine/generator efficiency.

or,  $P_{kW} = 9.81 QHe$  (metric units)

where,

$P_{kW}$  is power in kilowatts,

$Q$  is in cubic meters per second,

$H$  is net head in meters, and

$e$  is, as before, efficiency of the system.

Thus, some of the first things an engineer must determine are (1) how much water is available in a river (and when), and (2) how much head (drop) is potentially available (and when). From the basic information, he will begin to consider various configurations of dams, penstocks, etc. — including the type and numbers of turbines — in order to minimize the cost while producing the desired amount of power. He usually conceives a number of possible configurations, each of which must be evaluated in more or less detail.

The turbines that an engineer will consider for modern systems basically fall into two categories: impulse and reaction. There are basic differences in their characteristics that should be understood.

### Impulse Turbines

On this kind of turbine, "buckets" on the periphery of a wheel are moved by the force of a jet (or sets of jets). The available (net) head is converted to kinetic energy, of which a portion creates the torque. Generally, impulse turbines are used for high heads, although at least one modern design is efficiently used for commercial developments in the low-head range. For mini low-head systems, the Banki turbine has

Para los sistemas de altas caídas se pueden utilizar eficientemente las turbinas de tipo Pelton al igual que las Banki.

Las turbinas a impulso están encerradas en una caja pero operan bajo presión atmosférica en el aire. Existe, por lo tanto, alguna caída sin uso debido a que para ser eficientes tienen que ser colocadas por encima del nivel del agua de descarga. Tales turbinas pueden ser operadas también a niveles más bajos que el agua de descarga, siempre y cuando se encuentren bajo presión positiva.

**Turbinas de Reacción.** Generalmente existen dos clases de turbinas de reacción a flujo mixto y flujo axial. La energía es impartida a la turbina por medio de una reducción de la presión y de la velocidad del flujo del agua. En turbinas de tipo Francis, el agua entra radialmente impactando continuamente los "cubos" y se descarga (normalmente en forma vertical) agua abajo (axialmente) hacia el centro, dentro de un tubo aspirante que se expande. El rango de la caída efectiva es bastante amplio, desde caídas bajas hasta caídas altas. Las turbinas a hélice pueden ser accionadas por el flujo de agua en forma similar a las turbinas tipo Francis (radialmente) y después axialmente). o como en aplicaciones más modernas (tubular) en las que el canal del agua ha sido diseñado para que el flujo sea puramente axial. En cualquiera de los casos, el flujo a las hélices es axial. Las caídas efectivas están en los rangos de bajo a mediano. Las turbinas de reacción aprovechan la caída total disponible hasta llegar al nivel del agua de descarga. Por consiguiente, el montaje de las turbinas debe ser cuidadosamente diseñado para evitar la cavitación.

En instalaciones pequeñas, el uso de hélices y de bombas centrífugas con rotación invertida ha producido resultados razonables. Estas poseen la ventaja de encontrarse en venta "sobre el mostrador" en todas partes del mundo y por lo tanto tienen importancia definitiva cuando se considera el desarrollo de mini sistemas en particular.

## Análisis Hidrológicos

La decisión a tomar en relación a la inversión de tiempo y dinero en los estudios hidrológicos es una función de:

- La clase de estudio a efectuarse. Específicamente, ¿Va a ser un estudio generalizado de los recursos? o ¿Va a ser específico a una urbanización?
- El nivel del estudio a efectuarse. ¿Va a ser un estudio de reconocimiento, de factibilidad o de diseño?

been recommended in many publications. For higher-head systems, Pelton-type turbines can be efficiently used, as can the Banki.

Impulse turbines are enclosed in a case, but operate under atmospheric pressure in air. There is, therefore, some unused head because they must effectively be set above the tailwater level. They can be operated below tailwater levels, but then only under positive pressure.

## Reaction Turbines

Reaction turbines are generally of two kinds — mixed flow and axial flow. Energy is imparted to the turbine from the flowing water by a reduction of pressure and velocity. On Francis type turbines, water enters radially, continually impacting the "buckets" and discharges (usually vertically) down (axially) the center into an expanding draft tube. Effective head range is quite large, from low- to high-head. Propeller-type turbines can be serviced by the flow much as a Francis turbine (radially then axially), or in more modern applications (tubular) by designing the water passage purely axially. In any case, the flow to the propellers is axial. Effective heads are in the lower to middle ranges. Reaction turbines take advantage of the total head available to the tailwater level. As a result, however, the setting of the turbines must be very carefully designed to avoid cavitation.

For small installations, the use of propellers and centrifugal pumps run backwards has been found to produce reasonable results. They have the advantage of being available "off the shelf" throughout the world and thus have a definite importance in development considerations for mini-systems in particular.

## Hydrologic Analyses

The decision to be made concerning the investment in time and money on hydrologic studies is a function of:

- The kind of study to be done. Specifically, is it to be a generalized resource study, or is it specific to a development?
- The level of study to be done. Is it a reconnaissance, feasibility or design study?
- The level of project investment. Obviously, the studies that would be made for a 100 MW plant greatly exceed those of a 500 kW or smaller unit.
- Safety considerations.

- El nivel de inversión del proyecto. Obviamente, los estudios que se hagan para una planta de 100 MW excederían en gran proporción a aquellos hechos para una de 500 kW o de una unidad más pequeña.
- Consideraciones de seguridad.

En cualquiera de los casos debe tomarse en cuenta que ningún nivel de esfuerzo dará un 100% de seguridad hidrológica para cualquier inversión. Si los estudios son hechos correcta y juiciosamente, éstos reducirán el margen de errores posibles. Sin embargo hay que tomar en cuenta que nosotros estamos tratando con análisis cuyos datos en serie son — en el mejor de los casos — sólo una pequeña muestra de la población total. Además, en la mayoría de los casos, tenemos que asumir que el futuro, generalmente, se comportará como el pasado. Aunque en el futuro inmediato — que por cierto representa la vida normal o período de inversión de los proyectos hidroeléctricos — ésta es probablemente una suposición razonable; no hay garantías que de hecho así sea. Sólo parece razonable. En ésta última palabra yace lo que debe ser un aviso de precaución que debe extenderse a la persona o grupo que esté haciendo los estudios: *Después que se haya concluido el trabajo, hay que retroceder y formular la simple interrogante: ¿Parece razonable?*

Yo no puedo enfatizar demasiado este punto porque con mucha frecuencia en estos días usamos las computadoras para que piensen por nosotros. Existe también la tendencia a querer usar técnicas muy sofisticadas en todos los casos — como lo dice el proverbio, “usar un martillo para clavar una tachuela”. Tales procedimientos a menudo nos obligan a usar computadoras. Y la mayoría de la gente está tan asombrada por ellas que rehusan creer que cualquier cosa producida por una computadora no sea perfecta, no importa lo que sea: “Entra Basura...Sale Evangelio.”

Cuando se esté preparando para hacer un estudio, uno debe preguntarse: ¿Es ésta la mejor manera de hacer el estudio? ¿Es necesario hacerlo de esta manera? ¿Se aplica a las circunstancias realísticamente? Y, naturalmente, ¿Puedo basar en los resultados la decisión para invertir?

Cuando haya problemas especiales en el diseño de proyectos pequeños, éstos sin duda tienen que ver con encajar el enfoque “mental” a la escala de la operación. La economía de la pequeña planta hidroeléctrica pocas veces permite el lujo en cuanto a tiempo y fondos, característicos de instalaciones mayores. en el estudio de factibilidad de la pequeña

In all cases it should be realized that no level of effort will give 100% hydrologic assurance for any investment. If the studies are done correctly and judiciously they will reduce the margin of possible error. But it must be realized that we are dealing with analyses of data series which are at best only a small sample of the total population. Furthermore, we are in most cases forced to assume that the future will, in general, behave like the past. Although in the short future — which the normal life or investment period of hydroelectric projects certainly represent — this is probably a reasonably good assumption, there is no proof that that is, in fact, the case. It only seems reasonable. In that last word lies what must be a caution to be extended to the person or group doing the studies: *After you have finished your work, step back and ask the simple question: does it look reasonable?*

I cannot overemphasize this point because, too often these days, we use computers to do our thinking for us. There is also a tendency to want to use very sophisticated techniques in all cases — as the expression goes, “using a sledgehammer to drive a tack”. Those procedures very often force us to use computers. And too many people are so in awe of computers that they refuse to believe that anything coming therefrom could be less than perfect, no matter what: “Garbage in...Gospel out”.

When preparing to do a study, one should ask: Is this the best way to do the study? Is it necessary to do it this way? Does it really apply to the circumstances? And, of course, can I base an investment decision on the results?

If there are special problems in the design of small projects, they certainly involve those of fitting the “mental” approach to the scale of operation. The economics of small hydro seldom allow the luxury of time and funds characteristic of larger installations. In small hydro, the feasibility study alone must often be viewed as a significant financial burden warranting an investment-type decision by the potential project sponsor.

In general, one of two basic questions is to be answered in the hydrologic analysis:

- How much power/energy can be derived from the development? or,
- Is there sufficient water and head for the amount of power/energy required by the users?

planta hidroeléctrica, el estudio en sí tiene que ser percibido como una substancial carga financiera que tiene que ser justificada por el patrocinador potencial del proyecto como una decisión para invertir.

Generalmente, por lo menos una de las dos preguntas fundamentales tienen que ser contestadas por los análisis hidrológicos:

- ¿Cuanta energía se puede derivar del proyecto? o,
- ¿Hay suficiente agua y caída como para generar la energía requerida por los usuarios?

A la primera pregunta tenemos que agregarle la advertencia de ¿ a qué nivel de capacidad instalada? Como todos debemos saber, es teóricamente posible instalar una turbina de cualquier tamaño (dentro de límites razonables). Dependiendo de la capacidad instalada se puede utilizar mayores o menores proporciones de flujo disponible para generar energía. Para las turbinas extremadamente grandes, o combinaciones de capacidad, habrá grandes lapsos de tiempo durante los cuales la maquinaria no estará en marcha. Cuando la capacidad instalada es pequeña, pueden existir grandes cantidades de agua que deban ser derramadas y por lo tanto no se las podría utilizar para generar energía. El problema para el diseño es el de optimizar nivel de capacidad instalada...lo cual requiere, en la mayoría de los casos, consideraciones económicas. Este proceso es presentado en la Sección siguiente.

La segunda pregunta es generalmente la más fácil de contestar, aunque debido a que se la aplica con mucha frecuencia a los ríos pequeños, también nos enfrenta con el dilema de falta de datos sólidos. Es éste el enfoque que se usa normalmente cuando se considera la instalación de unidades mini hidroeléctricas. (Nota: los términos "mini" y "micro" para plantas hidroeléctricas a menudo se intercambian). En ese caso podríamos tomar el enfoque inverso, donde al principio decidimos cuánta energía vamos a necesitar. Con frecuencia encontraremos que sólo se ha de necesitar una porción del flujo del río para generar la energía. Si éste es el caso, entonces las técnicas para desviar las corrientes requeridas se convierten en una cuestión técnica.

### **Datos Requeridos**

Aunque la seguridad de la represa, incluyendo asegurar el paso de las corrientes de desborde, es parte integral del diseño de la represa, no se la considera en este artículo. En esta discusión se enfoca el interés principalmente en los estudios hidrológicos requeridos para determinar los potenciales de energía. Sin embargo, es un hecho que no se pueden

To the first question we must also add the caveat, at what level of installed capacity? As we all must realize, it is theoretically possible to install almost any size turbine (within reason). Depending upon the installed capacity, greater or lesser proportions of available flows will be used for power development. For extremely large turbines or combinations of capacity, there will be large blocks of time during which equipment will be idle. For very small installed capacities, there may be large amounts of water that must be spilled and thus unavailable for power development. The design problem is to somehow optimize the level of installed capacity...which in most cases is one involving economic considerations. This process is introduced in the next Section.

The second question is quite often the easier to develop answers for, although because it is very commonly applied to smaller streams, it also presents us with the dilemma of lack of solid data. It is this approach that is usually involved in considering installation of mini-hydro units. (Note: the terms "mini" and "micro" hydro are often used interchangeably). In that case, we might take the inverse approach, where we begin by deciding how much power/energy is required. We may often find that only a portion of a river's flows may be needed for generation purposes. If such is available, then the techniques of diverting the required flows becomes a technical question.

### **Data Requirements**

Although dam safety, including the safe passage of flood flows, is an extremely important part of dam design, it is not being considered in this paper. In this discussion, the interest is primarily on the hydrologic analyses required to determine power and energy potentials. In fact, however, the system cannot be designed properly without considering all hydrologic factors.

For simply determining the amount of potential hydropower that is available, all that is required of the hydrologist is, as noted in the first Section, streamflow and head. The various techniques for determining streamflows will be discussed later. The head available can only be approximated initially, with preliminary estimates commonly taken directly from maps. Actual heads available under different flow conditions are a function of



diseñar correctamente los sistemas sin considerar todos los factores hidrológicos.

Para determinar simplemente la cantidad potencial de hidroenergía disponible, todo lo que un hidrólogo necesita es, como anotamos en la primera Sección, conocer el flujo de las corrientes del río y la caída. Revisaremos más adelante las diversas técnicas existentes para determinar las corrientes de río; la caída disponible inicialmente es sólo una aproximación con datos preliminares estimativos tomados por lo común directamente de los mapas. Las caídas actuales disponibles bajo diferentes condiciones de flujo de la corriente es una función del diseño de la presa/reservorio y de las alternativas de operación.

Hasta que el esquema regulador de las corrientes no esté finalizado, uno sólo puede aproximar el nivel de la capacidad instalada y su correspondiente producción de energía. No obstante, tales aproximaciones son importantes para dar asesoramientos preliminares (niveles de reconocimiento) para determinar si es aconsejable continuar adelante con las investigaciones. Debe tomarse en cuenta también que la capacidad del reservorio para instalaciones hidroeléctricas pequeñas son usualmente pequeñas, lo que significa que en la mayoría de tales proyectos la operación de la planta aprovechará la corriente del río.

Otros factores hidrometeorológicos de cierta importancia son la precipitación pluvial, la presión del aire (obviamente relacionada a la elevación del proyecto), y aquellos otros factores relacionados con la evaporación. En algunas partes del mundo, principalmente donde la superficie de los reservorios es bastante grande, las pérdidas causadas por la evaporación pueden ser significativas. Los datos sobre la precipitación pluvial cobran mayor importancia en aquellos lugares donde la información sobre las corrientes no existe o es muy limitada.

Los factores relacionados con la calidad del agua son también importantes para los esquemas del diseño. Se debe considerar cuidadosamente sedimentación de los reservorios. La calidad química del agua es importante, principalmente del punto de vista de la erosión y también para determinar si el agua es adecuada para la lubricación de los rodamientos. El agua con elementos corrosivos puede sustancialmente acelerar el proceso de ahuecamiento causado por la cavitación lo mismo que los efectos de los materiales erosivos.

La existencia de mapas topográficos facilitan enormemente la colocación precisa de los proyectos. Además, ayudarán a identificar las líneas de transmisión existentes (donde las haya), ubicación de las

the dam/reservoir design and the operation alternatives.

Until the stream regulation scheme is finalized, one can only approximate the level of installed capacity and corresponding energy output. Nevertheless, such approximations are important in giving preliminary assessments (reconnaissance level) as to the advisability of proceeding further into the investigations. It should also be noted that the reservoir capacities for small hydro installations are usually small, meaning that most such developments will be run-of-river operations.

Other hydrometeorologic factors that may be of importance include precipitation, air pressure (obviously related to the elevation of the development), and those other factors related to evaporation. In some areas of the world, particularly where reservoirs with large surface areas might be involved, the losses due to evaporation may be significant. The importance of precipitation data is greatly increased where flow data is missing or limited.

Water quality factors may also be important in the design schemes. Sedimentation of reservoirs must be carefully considered. The chemical quality of the water becomes important primarily from the standpoint of erosion and whether or not the water is suitable for bearing lubrication. Corrosive water can substantially accelerate pitting damage caused by cavitation as can the effects of erosive materials.

The existence of topographical maps will greatly facilitate precise location of developments. They will, in addition, aid in identifying existing transmission lines (where they may exist), gauging station locations, access, interference with roadways, railroads, etc. Such information may be very valuable in making preliminary subjective economic decisions concerning site selection.

The value of short records of hydrologic data can often be greatly enhanced if there exists a network of gauges. Obviously one cannot retroactively create such networks. It is therefore important that such activities be given serious consideration immediately.

In its "Guide to Hydrometeorological Practices", the World Meteorological Organization (1970) offers many practical guidelines to subjects that will be of interest to hydropower engineers, with reference to the previous discus-

estaciones calibradoras, accesos, interferencias con caminos, ferrocarriles, etc. Información como ésta puede ser muy valiosa para determinar decisiones económicas subjetivas preliminares relacionadas con la selección de lugar del proyecto.

El valor de los datos hidrológicos de corto tiempo puede ser enormemente aumentado si existe un sistema de calibradores. Es obvio que no se puede crear tales sistemas retroactivamente; por lo tanto es muy importante que a tales actividades se les dé inmediatamente seria consideración.

En su "*Guía para Prácticas Hidrometeorológicas*" la Organización Mundial de Meteorología (1970) ofrece muchas guías prácticas con relación a tópicos de sumo interés para ingenieros de hidroenergía y con referencia a la discusión previa sobre sistemas para la adquisición de datos. En relación al desarrollo de un sistema mínimo, la *Guía* dice lo siguiente,

"Mientras se debe considerar un plan mínimo como el primer paso, esto será pronto insuficiente, a medida que los países se desarrollen. El establecimiento de un sistema óptimo sería una empresa de mayor envergadura. También, las brechas que quedan aún después de haber establecido un sistema mínimo son lo suficientemente grandes para permitir que el sistema mínimo, con pocos y relativamente menores cambios, forme parte integral del sistema óptimo. Casi todas las estaciones del primer sistema se convertirán en estaciones principales o básicas del sistema fundamental último."

Los dos sistemas principales para la adquisición de datos que se necesitan para los estudios de hidroenergía son los relativos a la precipitación y la descarga del río. La OMM sugiere en su *Guía* densidades mínimas.

Prescindiendo de que si existen o no sistemas para medir la descarga del río sería necesario (o por lo menos conveniente) establecer un calibrador en el área propuesta para el desarrollo. Esto es probablemente imperativo en el caso de los sistemas para mini hidroenergía. En términos de realismo económico, si consideramos el nivel de inversión, los calibradores para las mini centrales hidroeléctricas tienden a ser mucho menos sofisticados que aquellos deseados en inversiones mayores.

Aún cuando no existen dos encuestas iguales sobre recursos acuáticos debido a lo específico de las preguntas formuladas y a la información básica disponible, se pueden sugerir procedimientos

de adquisición de datos para la adquisición de redes. Concerniente al desarrollo de una red mínima la *Guía* states,

"While a minimum plan should be considered as the first step, it will rapidly become insufficient as countries develop. The establishment of an optimum network would be a much greater undertaking. Also, the gaps which remain even after the establishment of the minimum network would still be sufficiently large to permit the minimum network to become an integral part of the optimum network with very few and only relatively minor changes. Nearly all of the stations of the first network will be principal or base stations in the ultimate network".

Los dos principales sistemas de adquisición de datos necesarios para estudios de energía hidroeléctrica son los de precipitación y descarga de ríos. La *Guía* de la OMM sugiere densidades mínimas.

Independientemente de la existencia o no de una red de medición de descarga de ríos, puede ser necesario (o al menos extremadamente deseable) establecer un medidor en el área propuesta para el desarrollo. Esto será probablemente imperativo en el caso de sistemas mini-hidro. Como un asunto de realismo económico, considerando el nivel de inversión, la medición para sistemas mini-hidro tenderá a ser mucho menos sofisticada que la deseada para inversiones mayores.

Aunque no dos encuestas de recursos hídricos serán las mismas debido a las preguntas específicas y la información disponible, sin embargo, se pueden sugerir procedimientos generales. El siguiente procedimiento es sugerido por Linsley (1958).

"(a) Assemble the best available maps of the region, piecing together, if practical, a single master map to the largest possible scale. Draw on the map the outlines of the major river basins concerned in the survey.

"(b) Assemble or at least determine the location of all pertinent hydrological data files. Locate on the master map the site of all observation stations using appropriate symbols to indicate the nature of the observation. If printed instructions for observations are in use collect these. If not, determine by interview the methods of observation and types of instruments employed. As far as possible evaluate the probable reliability of the various items of data available. Prepare a

generales. El siguiente procedimiento es sugerido por Linsley (1958).

“(a) Compile los mejores mapas de la región, formando — si fuere posible — un mapa principal con la escala más grande que sea posible. Dibuje sobre el mapa, delineando las cuencas de los ríos más importantes detallados en la encuesta.

“(b) Recoja o por lo menos determine la ubicación de todos los archivos pertinentes a los datos hidrológicos. Ubique en el mapa principal los sitios de todas las estaciones de observación, usando símbolos apropiados para indicar la naturaleza de la observación. Si hay instrucciones impresas para la observación, coleccionelas. Si no las hay, determine por medio de entrevistas los medios de observación y los tipos de instrumentos utilizados. Hasta donde sea posible evalúe la veracidad de los diferentes puntos contenidos en la información disponible. Prepare una Grafica de Barras mostrando el período actual del registro por cada dato en cada estación. Si es posible, indique en el cuadro los cambios en frecuencia o cambios en el método de observación y una estimación de la veracidad de los datos.

“(c) Examine toda la literatura existente sobre hidrología, climatología, geología y geografía de la región. Prepare una bibliografía de todo este material, anotada si es posible, para referencias futuras durante la encuesta y para uso en estudios futuros. Lea de esta literatura tanto como parzca útil y anote cualquier información o conclusión pertinentes a la encuesta.

“(d) Haga una inspección topográfica de la región, visitando cada una de las regiones más importantes en cuanto a clima y topografía. Hasta donde sea posible, inspeccione el detalle de mapas, especialmente para ubicar las divisorias y la dirección de las corrientes de los ríos que generalmente están erradas en mapas inadecuados. Use muchas fotografías para ilustrar los diferentes tipos de terreno, de vegetación, y las características de los cauces fluviales. Tome nota de los sitios que serían adecuados para estaciones de observación, especialmente caudales y sitios para represas. Visite tantas estaciones de observación como fuese posible anotando las condiciones del equipo, las técnicas de observación, etc. para así sustentar la evaluación que se hace de la veracidad de los datos.

“(e) Si la información disponible es muy limitada y existe la perspectiva de coleccionar información

bar chart showing the actual period of record for each item of data at each station. If possible indicate on the chart changes in frequency or method of observation and the estimated reliability of the data.

“(c) Survey all existing literature on the hydrology, ciimatology, geology and geography of the region. Prepare a bibliography of this material, annotated if possible, for further reference during the survey and future use in other studies. Read as much of this literature as seems useful and note any information or conclusion which are pertinent to the survey.

“(d) Make a field survey of the region, visiting each of the major climatic and topographic regions. Insofar as possible check the detail of maps, especially the location of divides and the direction of flow of streams which are often in error on inadequate maps. Use photographs freely to illustrate the various types of terrain, vegetal cover, and the characteristics of stream channels. Note sites which would be suitable for observation stations, especially streamflow, and for dam sites. Visit as many observation stations as possible noting condition of equipment, techniques of observation, etc. to support the evaluation of data reliability.

“(e) If the available data are very limited and there is prospect of collecting information of value before the completion of the survey, recommend the immediate installation of stations. Crude rain gauges can be frabricated of tin cans or oil drums, staff gauges can easily be made by painting scales on existing structures or on planks, and float measurements of streamflow require little equipment. The type and quality of observation will depend on the local conditions. However, even limited data on the low flow of streams or on floods, may prove very useful.

“(f) Outline the studies required in the preparation of the survey report...”

Although the above-suggested procedures were recommended for consideration in reaching conclusions concerning water resource surveys in general, the steps are logical for a thorough analysis of hydropower potential. In particular, it is too easy to overlook the fact that an adequate hydrologic analysis must include an on-the-ground inspection of the area in ques-

valiosa antes de completar la encuesta, recomienda la instalación inmediata de estaciones. Pluviómetros caseros pueden ser fabricados con latas o con barriles de petróleo, escalas hidrométricas se pueden hacer fácilmente pintando escalas en estructuras ya en existencia o sobre tablonés, y las escalas flotadoras para medir los caudales se pueden fabricar con facilidad. La clase y calidad de una observación dependerá en las condiciones locales. Sin embargo, aún información limitada sobre la corriente baja de los ríos o sobre inundaciones puede resultar importante.

“(f) Haga una lista de los estudios requeridos para la preparación del reporte de la encuesta...”

Aunque los procedimientos arriba-sugeridos fueron recomendados para considerar la derivación de conclusiones relacionadas con las encuestas sobre recursos acuáticos en general, estos pasos son lógicos para llevar a cabo un análisis completo del potencial de la hidroenergía. En particular, es muy fácil pasar por alto el hecho de que un análisis hidrológico adecuado tiene que incluir una inspección del terreno del área en cuestión. Una cosa es analizar la información que es al mismo tiempo exacta y precisa. Es otra cosa muy diferente es la de suponer que su información tenga esas cualidades.

### Calidad de la Información

Las siguientes pruebas representan algunos de los métodos para determinar que la información sea “buena.” Como no toda la información permanece invariable en términos de tiempo y espacio, generalmente es conveniente investigar — y donde fuese necesario — ajustar las series. Sin embargo, tales ajustes deben hacerse sin violar la integridad básica de la información. Como la *Guía* de la OMM (1970) lo indica, los ajustes se hacen generalmente por una o más de las tres razones siguientes:

- Para homogenizar la información con un medio ambiente específico; un ejemplo de lo cual es el de encajar la información a un periodo uniforme para el cual se ha de computar un promedio ó normal para un “período standard.”
- Para eliminar, o por lo menos reducir, los efectos de cambios u otras condiciones extrañas; por ejemplo, para corregir por cambios en la ubicación de los calibradores y exposición a la interperie.
- Para resumir selectivamente la información, con el objeto de examinarla o de presentarla, un ejemplo de lo cual es uniformar los mapas isopluviales.

tion. It is one thing to analyze data that is both accurate and precise. It is quite another thing to assume that your data is always so.

### Data Quality

The following tests are some of the ways in which the “goodness” of available data can be determined. Because not all data is invariable in time and space, it is generally desirable to investigate and, where necessary, adjust the series. However, adjustments should be made without violating the basic integrity of the data. As the *WMO Guide* indicates, adjustments are generally made for one or more of three purposes:

- To make the record homogeneous with a given environment, an example of which is in fitting a uniform period of record for which a “standard period” mean or normal is to be computed.
- To eliminate, or at least reduce, the effects of changes or otherwise extraneous conditions, for example to correct for changes in gauge location or exposure.
- To selectively summarize data for presentation or examination, an example of which is the smoothing of isohyetal maps.

A very common problem faced by hydrologists when beginning a regional study is that gauging stations will have differing periods of record. This can be particularly important because some gauges may have operated during periods of high water availability while others may have records representing only low periods. Others may have overlapped both high and low periods. Attempts to use the records simultaneously could create confusion and misrepresentation of the actual situation. By the same token, it is important that any procedure used to fill in data gaps not further confuse the situation.

Attempts to fill in missing data can create false security if one is not extremely careful. First, it must be realized that the use of correlation or regression analyses dilutes the value of the data.... The filled in data can only be considered an approximation of what actually occurred. Furthermore, if the data are to be used in statistical analyses, the use of simple regression analyses will only produce estimates of the means of the missing values. In such a case, the natural variations about the mean will be eliminated and the overall variance, thus,

Un problema muy común que los hidrólogos confrontan cuando comienzan un estudio regional es que las estaciones hidrométicas registraran períodos diferentes. Esto puede ser particularmente importante debido a que algunos de los calibradores pueden haber operado durante períodos en que la cantidad de agua era abundante mientras que otros pueden haber registrado sólo los períodos cuando la cantidad de agua era baja. Otros, aún, pueden haber traslapado ambos períodos, de abundancia y escasez. Pretender utilizar estos datos simultáneamente podría causar confusión y mal representar la situación real. Al mismo tiempo, es importante que cualquier procedimiento que se use para llenar las brechas en la información no confunda aún más la situación.

Si uno no es lo suficientemente cuidadoso, se podría crear un ambiente de falsa seguridad al intentar completar la información que falta. Primero, se debe tomar en cuenta que el uso de análisis de correlación y de regresión diluye el valor de la información...La información utilizada para completar el vacío tiene que ser considerada sólo como una aproximación de lo que realmente ocurrió. Además, si los datos van a ser utilizados en análisis estadísticos, el uso de regresión simple va a producir sólo promedios estimativos de los valores ausentes. En tal caso, las variaciones naturales alrededor el promedio serán eliminadas, y por consiguiente la se disminuirá la variación total. Se ha sugerido que cuando más de dos o tres puntos de información estén siendo rellenados, se añada al valor promedio determinado por la regresión un elemento al azar que esté basado en la variación inexplicada de la ecuación regresional.

Una excelente forma de empezar cualquier estudio en el que se vaya a utilizar la información regional es representando gráficamente la longitud de las series por medio de un diagrama de barras como aparece en la Figura 1. De esta representación gráfica es posible conceptualizar el período óptimo al que toda la serie de datos puede relacionarse.

Más adelante en esta Sección se describe un procedimiento para extender la base de los análisis relativos a la duración de corrientes. En este caso son las características de las corrientes las que son extendidas en vez de las corrientes mismas.

Se puede estimar aproximadamente el promedio o la precipitación normal mediante la ecuación general

$$N_x = N_r \frac{P_x}{P_r}$$

donde,

diminished. It has been suggested that when more than two or three data points are being filled in, that a random element based on the unexplained variance of the regression equation be added to the mean value determined by the regression.

A valuable way to begin any study in which regional data are to be used is to plot the series length as a bar diagram as shown in Figure 1. From this plot it is possible to conceptualize the optimum period to which all data series can be related.

Later in this Section, a procedure is described for extending the base in flow-duration analyses. In that case, it is the characteristics of the flows rather than the flows themselves that are being extended.

Normal or mean precipitation can be estimated approximately with the general equation.

$$N_x = N_r \frac{P_x}{P_r}$$

where,

N = normal (or mean) precipitation

P = precipitation during a shorter period

x = station with unknown normal (or mean)

r = station with known normal (or mean)

Use of this equation could result in a substantially-in-error estimate, and thus, in practice, selection of comparable stations should be limited to those in close proximity to that of the short record. It is also better to use several stations to determine the normal (or mean) for the short-record station. For example, the following equation could be used for three stations (a, b, c) to the short-record station (x).

$$N_x = \frac{P_x}{3} \left( \frac{N_a}{P_a} + \frac{N_b}{P_b} + \frac{N_c}{P_c} \right)$$

The derived normal value may be very questionable where the P values are for periods of three years or less.

Where normal (or mean) precipitation values can be established for all stations (such as for the arbitrarily established period of record overlap), the same equation shown above can be used to estimate missing precipitation events. Use in this case should be limited to precipita-

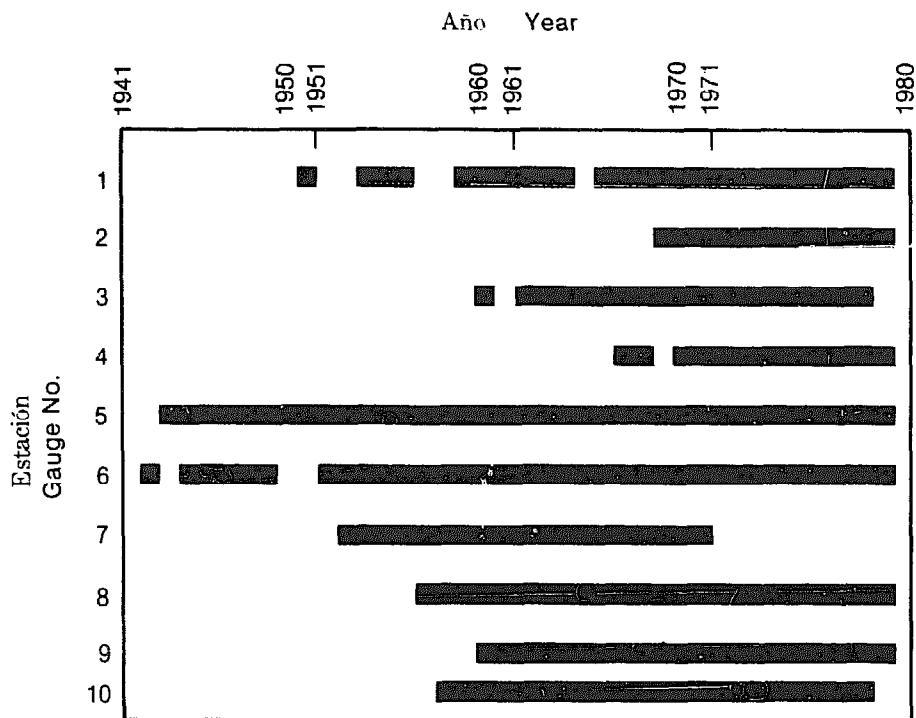


Figura 1. Gráfica de Barras Indicando Años de Registros para los Estaciones Medidoras.  
 Figure 1. Bar Graph Showing Years of Record for Gauge Stations.

- N = precipitación normal (o promedio)
- P = precipitación durante un período más corto
- x = es la estación con su normal (o promedio) como incógnita
- r = es la estación con normal (o promedio) conocida

El uso de esta ecuación puede resultar en un estimativo con substancial margen de error, y por lo tanto en la práctica la selección de estaciones comparables debe limitarse a aquellas que se encuentran cerca de las estaciones cuyos datos cubren un período más corto. También es mucho mejor usar varias estaciones para determinar la normal (o promedia) para la estación con datos cubriendo un período más corto; por ejemplo, la siguiente ecuación puede usarse para las tres estaciones (a, b, c) en relación a la estación cuyos datos cubren un período más corto (x).

$$N_x = \frac{P_x}{3} \left( \frac{N_a}{P_a} + \frac{N_b}{P_b} + \frac{N_c}{P_c} \right)$$

Cuando los valores de P corresponden a períodos de tres años o menos el valor normal derivado es cuestionable.

tion time periods of no less than one month's duration.

**Double-mass analysis.** The method of applying the technique of double-mass analysis is based on the theory that a graph of the cumulation of one quantity against the cumulation of another quantity during the same period will plot as a straight line, so long as the data are proportional. It is further assumed that a change in the slope represents a change in the proportionality between the variables.

Because of natural variability in hydrology, we usually plot the cumulated series under investigation against the average of several others. The number to be included in the average is limited by the criterion that the area in which the stations are located be small enough to be influenced by the same general conditions. Each of the stations should itself be checked for consistency before it is used in the double-mass analysis, particularly if less than ten stations are to be used.

The result of a double-mass analysis is generally to adjust the early data, where

Cuando pueden establecer los valores normales (o promedio) para la precipitación para todas las estaciones (como en el caso cuando arbitrariamente se establecen períodos traslapando los datos) entonces esta misma ecuación arriba descrita puede ser utilizada para calcular los eventos de precipitación ausentes. En este caso se debe limitar los períodos de precipitación a un período de tiempo no menor que un mes de duración.

**Análisis de Doble-Masa.** El método para aplicar la técnica de análisis de Doble-Masa está basado en la teoría de que la gráfica de la acumulación de cierta cantidad comparada con la acumulación de otra cantidad durante el mismo período puede representarse gráficamente como una línea recta siempre y cuando los datos sean proporcionales. Aún más, se supone que un cambio en la pendiente representa un cambio en la proporcionalidad entre las variables.

Como en hidrología existe una variabilidad natural, tomamos las series acumuladas que estamos investigando y las representamos gráficamente comparándolas con el promedio de varias otras. El número a incluirse en el promedio está limitado por el criterio que dita que las estaciones deben estar ubicadas en un área lo suficientemente pequeña para que las mismas condiciones generales prevalezcan sobre ellas. Cada una de las estaciones debe ser verificada en cuanto a su consistencia antes de ser usadas en el análisis de doble-masa sobre todo si el número de estaciones a incluir en el cálculo es menor de diez.

El resultado del análisis de doble-masa se usa generalmente para ajustar la información anterior — cuando fuere necesario — de tal forma que sea *consistente* con la información obtenida posteriormente. Se debe tomar en cuenta que teóricamente uno podría utilizar un método estadístico al análisis de doble-masa. Sin embargo, ésto ha sido considerado como incorrecto por el simple hecho de que: No se debe ajustar ninguna información a menos que se pueda demostrar que algo en realidad ocurrió a la hora indicada por medio de un cambio en la pendiente. No se debe alterar la información arbitrariamente.

El análisis de doble-masa se aplica muy bien a la información sobre precipitación ya que los eventos de precipitación generalmente no son afectados por las actividades del hombre. Por otra parte, se pueden mover “ligeramente” los calibradores de la precipitación o no son considerados cuando se construyan nuevas estructuras o se alteren las viejas, o no se da seria consideración al crecimiento de la vegetación.

necessary, such that it is *consistent* with the later data. It should be noted that one could, in theory, apply a statistical approach to the double-mass analysis. However, this has generally been considered inappropriate for one simple fact: no adjustment of data should be made unless it can be shown that in fact something did occur at the time indicated by the change in slope. Data should not be arbitrarily changed.

The double-mass analysis applies particularly well to precipitation data because precipitation events are in general unaffected by man's activities. On the other hand, precipitation gauges are too easily moved “slightly”, or otherwise not considered when structures are built or altered, or are not given serious thought when vegetation increases. Thus precipitation data has been shown to be particularly vulnerable to inconsistency and is well-served by a double-mass analysis.

Although the double-mass analysis techniques can be used to check streamflow records for inconsistencies in much the same manner as that of precipitation, the assumption that a constant ratio exists between a given time series of streamflow and that of a comparable group of records may not be valid. It has been found that on an annual basis the assumption is sometimes justified, whereas on a shorter basis problems may arise.

As a matter of process, the streamflow is first converted to a comparable basis, such as inches, discharge per unit area, or percent of mean so that large rivers will not have more effect than the lesser ones. Of course, reasonably comparable streams should be used.

If a break in the double-mass curve is found, an inconsistency is suggested. As in the precipitation analysis, the first step to be taken is to find a reason for the inconsistency. Unlike that of precipitation, however, the double-mass analysis should seldom be used to adjust streamflow records. As noted by the USGS (1960):

“If the inconsistency is due to a change in method, such as an improvement in the high water rating, the record should be recomputed on the basis of revised ratings. If the inconsistency is due to diversions out of the basin, the amount of the diversion would be estimated and added to the observed discharge. If

Por lo tanto, se ha demostrado que la información en relación a la precipitación es particularmente vulnerable a la inconsistencia y el análisis de doble-masa tiene su valor en estos casos.

Aunque se puedan utilizar las técnicas del análisis de doble-masa para verificar las inconsistencias de los registros del flujo de la corriente más o menos de la misma manera que con los datos de la precipitación, la suposición de que exista una proporción constante entre una serie de datos sobre el flujo de la corriente durante un lapso de tiempo y los datos de un grupo comparable podría no tener ninguna validez. Se ha encontrado que en períodos que tienen como base un año, esta suposición a veces puede ser justificada mientras que cuando se usan períodos más cortos ocurren muchos problemas.

Como parte del proceso, primeramente se convierte el flujo de los caudales a una base común comparable, tal como pulgadas, descarga por área, imitaria o como porcentaje del promedio para que de esta manera los ríos más grandes no tengan mayor efecto que los pequeños. Naturalmente, se debe usar ríos que sean razonablemente comparables.

Cuando ocurre una discontinuidad en una curva de doble-masa, esto indica que existe una inconsistencia. Al igual que en el análisis de la precipitación, primero se debe encontrar la razón para esa inconsistencia. Al revés de lo que se hace con el análisis de la precipitación, rara vez se debe utilizar el análisis de doble-masa para ajustar los registros hidrométricos. Como lo anota el USGS (1960):

“Si la inconsistencia se debe a un cambio en el método, tal como una mejora en la valuación de las aguas altas, se debe recomputar el dato en base de la valuación revisada. Si la inconsistencia se debe a desviaciones fuera de la cuenca, entonces se debe calcular la cantidad de las desviaciones y agregar a la descarga observado. Si existe una inconsistencia significativa atribuida al uso del terreno o la administración de la propiedad, y si se necesitare un registro hipotético para uno de los períodos, normalmente se debe hacer los cálculos estimativos por medio de métodos de correlación. La razón por la que no se debe ajustar los registros hidrométricos por el porcentaje de la discontinuidad en la curva de la doble-masa es que el ajuste probablemente varía a través del rango de la descarga, y por lo tanto, tendrá promedios diferentes para la serie de años en que hay eluvias abundantes en comparación con la serie de años de sequía.”

En términos generales se puede decir que cuanto más grande sea la muestra estadística mayor será la

a significant inconsistency is attributed to changes in land use or land management practices and if a hypothetical record for one of the periods is desired, estimates should usually be obtained through correlation methods. The reason for not adjusting streamflow records by the percentage shown by the break in the double-mass curve is that the adjustment likely varies throughout the range in discharge and, thus, would have a different average for a series of wet years than for a series of dry years.”

In general terms, it can be stated that the longer the length of a statistical sample the more confidence we can have in calculation made therefrom. As was noted earlier it is possible to extend short records based upon correlation with longer series. For new information to be added (that is, as a practical matter, that the extension be worth the effort), the errors introduced by correlation must be less than the sampling error in the short record. There is a test, (Kite, 1977), which may be used to estimate the effective improved significance of the mean of the correlation-based extension. The process of extending records is obviously quite ineffective unless the effective period of the extended record is greater than the number of years in the short-term record. Furthermore, the actual amount of effective information may be less than is apparent at first glance.

The information content of a time series of hydrologic information should be investigated for trend or cyclicity. This was indicated earlier in the reference to adjustment of streamflow data and the double-mass analysis approach. No further sophisticated procedures for analyses are presented here because they require a more in-depth presentation of statistics and stochastic processes than can be presented in such a brief discussion. On the other hand, 5 to 10-year moving averages can often detect, subjectively, the existence of trends and cyclicity. The problem remains that, on the basis of the small samples usually present in typical hydrological analyses, it is impossible to prove, with reasonable assurance, that trends and cycles (in particular) actually exist. It is clear that the addition of long-period climatic analyses would greatly enhance hydrologic studies.

### **Flow Estimation Techniques**

Even though streamflow records may not be



confianza en los cálculos que se deriven de ella. Como anotamos anteriormente, es posible extender el uso de los registros que cubren períodos cortos basados en la correlación con series más prolongadas. Para que se agregue la nueva información (es decir, como método práctico, para que la extensión justifique el esfuerzo), los errores introducidos por la correlación deben ser menores que el error incurrido en el muestro del registro que cubre períodos cortos. Hay un examen, Kite (1977) que se puede utilizar para calcular la importancia efectiva de un mejor promedio cuya extensión está basada en la correlación. El proceso de extender los registros es obviamente bastante ineficaz a menos que  $N$  (el período efectivo de los registros prolongados) sea mayor que  $N_r$  (el número de años en el registro que cubre períodos cortos). Además, la cantidad real de información efectiva puede ser menor de lo que parece a primera vista.

El contenido informativo de una serie de datos hidrológicos en cierto tiempo debe ser investigada para notar tendencias, o ciclos. Esto se indicó anteriormente en referencia a los ajustes para los datos hidrométricos y para el método del análisis de doble-masa. Aquí no presentamos más procedimientos para análisis sofisticados porque ellos requieren una presentación mucho más profunda de las estadísticas y de los procesos esto cásticos lo cual no se puede hacer con tanta brevedad. Por otra parte, una tabla con 5 a 10 años de promedios dinámicos puede ayudar a detectar — subjetivamente — la existencia de tendencias y de ciclos. Sin embargo, el problema continúa siendo el hecho que en base a muestras pequeñas — lo cual es típico de los análisis hidrológicos — es imposible comprobar, con razonable seguridad, que las tendencias y (principalmente) los ciclos realmente existen. Es obvio que la incorporación de análisis climatológicos con períodos de larga duración mejorarían los estudios hidrológicos.

### Técnicas para el Cálculo del Flujo de las Corrientes

A pesar de que no siempre existirán registros hidrométricos disponibles en determinado lugar (de hecho, ésta es probablemente la primera ley de hidrología — no los habrá) existen ciertas técnicas analíticas si hay cierta información disponible en la región. Las técnicas varían desde aquellas que calculan los promedios de las corrientes a procedimientos de modelación complicados que requieren las competencias específicas de hidrólogicos experimentados.

available at a particular site (in fact this is probably the first law of hydrology — they won't be), analytical techniques are available if data is available in the region. The techniques vary from those that will estimate mean discharges to more complicated modeling procedures requiring specific competences by very experienced hydrologists.

In areas in which physical characteristics are common and precipitation relatively uniform across the area, discharge will be found to be highly correlated with drainage area. In its simplest form, discharges may often be proportioned up or downstream from an existing gauge on a ratio of drainage area. In New England (USA), rules of thumb (Mayo, undated) have been established whereby estimates of  $Q$  values applicable to a flow-duration analysis can be made for quick estimation of hydro potential. In Idaho (Gladwell, et. al., 1979) estimates of mean annual discharge were determined using existing flow data and maps of mean annual precipitation (modified by physical characteristics).

Where several physical or hydrologic characteristics modify the runoff significantly, multiple regression techniques have been used to define the flow statistics. A general relationship widely used for this purpose is:

$$DS_i = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} \dots X_n^{a_n}$$

where,

$DS_i$  = the flow statistic of interest; e.g., mean, standard deviation, mean annual flood, etc.

$X_j$  = catchment or hydrologic characteristics

$a_j$  = regional coefficients

The case of mean discharge as a function of area is, of course, but a simple case of the general model.

In regions with large orographic influences, the precipitation distribution with elevation can be usefully applied. Precipitation maps, in particular, may be used to integrate estimated precipitation over all or parts of the drainage area. This technique was used in the Idaho study previously referred to. In Western Washington, regression equations were developed (Gladwell, 1970) that successfully described varieties of multiple-peaked annual hydrographs (monthly bases),

En áreas donde las características físicas son comunes y la precipitación es relativamente uniforme en toda el área se descubrirá que existe una alta correlación de la descarga con el área de drenaje. En su forma más simple, la descarga pueden ser a menudo ajustada río arriba o río abajo por medio de un calibrador existente en base a la proporción al área de drenaje. En Nueva Inglaterra (Estados Unidos) se han establecido (Mayo, sin fecha) métodos empíricos por medio de los cuales se pueden hacer rápidos cálculos estimativos del potencial hidroeléctrico mediante los valores calculados de  $Q$  aplicables al análisis de la duración de las corrientes. En Idaho (Gladwell, et. al., 1979) el promedio anual estimado de las corrientes fueron determinados usando la información existente sobre las corrientes y mapas con el promedio anual de la precipitación (modificado por las características físicas).

Donde varias características físicas e hidrológicas modifican significativamente la afluencia del río, se han utilizado técnicas múltiples de regresión para definir las estadísticas del caudal. Una relación general ampliamente utilizada con este fin es:

$$DS_i = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} \dots X_n^{a_n}$$

donde,

$DS_i$  = la estadística de la corriente que nos interesa; e.g., el promedio, la desviación normal, el promedio anual de la creciente, etc.

$X_i$  = captación o características hidrológicas

$a_i$  = coeficientes regionales

El caso del promedio de la corriente como función de una área no es sino un simple caso del modelo general.

En regiones con grandes influencias orográficas, la distribución de la precipitación con elevación se puede aplicar eficientemente. Se pueden utilizar los mapas de precipitación, principalmente para integrar la precipitación estimada sobre todas las partes del área de drenaje. Esta técnica fué utilizada en el estudio de Idaho, al cual nos referimos anteriormente. En la parte occidental de Washington, se desarrollaron ecuaciones de regresión (Gladwell, 1970) las cuales describieron hidrográfos anuales con vértices múltiples (bases mensuales) con buen resultado, basadas principalmente en una descripción de los porcentajes del área pluviométrica entre las franjas de elevación.

based principally on a description of the percentages of the watershed area between elevation bands.

It is important that the investigation include a search of the existing literature for many regional analyses may have already been completed. Two monumental reports that will provide excellent specific and generalized information that could be of valuable assistance have been produced by the Division of Water Sciences, UNESCO (1977, 1978). The data and maps of worldwide water balances will be particularly useful in areas with minimal data.

A model developed for use where only precipitation and temperature data are available is discussed in the WMO *Guide* (1970). The method is based on a relationship between P/E and R/E, where P is the average annual precipitation, R is the average annual runoff, and E is a temperature factor. Using tables of T and E, and P/E and R/E, the R value (runoff) may be calculated. Refinements can be made for regions in which most of the precipitation falls within certain seasons.

**Stochastic and Deterministic Models.** The recognition that the hydrologic cycle is an extremely complex system has led to an increasing awareness that, in the studies of water resource development opportunities, one should maintain a "systems" approach. Models are a basic element in what has come to be known as "systems analysis" or "operations research." The aim of the process is, of course, to assist in identifying those control measures that will tend to ensure that the planning goals are reached.

In general, two broad classes of mathematical models can be identified as being of importance from a planning perspective (FAO, undated):

- (i) — descriptive *simulation* models that relate system inputs to outputs by a direct computational procedure and which are usually re-run a number of times to examine the implications of adopting various alternative designs;
- (ii) — "analytical *optimising* models, particularly of the mathematical programming variety, which seek to determine the optimum manner of achieving an objective."

Both classes of modeling can be involved in hydropower developments. The optimisation models can be particularly valuable where hydropower is to be added to an existing system in

Es de suma importancia que la investigación incluya un reconocimiento de la literatura existente ya que muchos análisis regionales pueden haber sido completados. Dos reportes monumentales que proveerán excelente información específica y generalizada y que pueden prestar valiosa asistencia han sido producidos por la División de Ciencias Acuáticas de la Unesco (1977, 1978). La información y mapas sobre los balances acuáticos mundiales son especialmente útiles en áreas donde existe muy poca información.

Un modelo desarrollado para utilizarlo donde sólo existe información sobre precipitación y temperaturas es presentado en la *Guía de la OMM*, (1970). El método está basado en una relación entre  $P/E$  y  $R/E$ , donde  $P$  es el promedio anual de la precipitación,  $R$  es el promedio anual de la afluencia del río, y  $E$  es un factor temperatura. Se puede calcular el valor de  $R$  (afluencia) usando las tablas  $T$  y  $E$ , y  $P/E$  y  $R/E$ . Se pueden elaborar refinamientos para ciertas regiones en las cuales las lluvias caen dentro de ciertas estaciones.

**Modelos Deterministas y Estocásticos.** El reconocimiento de que el ciclo hidrológico es un sistema extremadamente complejo ha traído como consecuencia el que uno mantenga un método de "sistemas" al iniciar un estudio sobre oportunidades de desarrollo de los recursos acuáticos. La construcción de modelos se ha convertido en un elemento básico en lo que se ha venido a conocer como un "sistema de análisis" o una "investigación operacional." El fin del proceso es, naturalmente, el de asistir para identificar aquellas medidas de control que contribuirían a asegurar la culminación de los objetivos planeados.

Generalmente dos clases de modelos matemáticos pueden ser identificados como importantes desde una perspectiva de planeamiento (FAO, sin fecha):

- (i) — modelos de *simulación* descriptiva que relacionan dentro de un sistema los insumos a su producción a través de un procedimiento computacional directo y por el cual se rotan varias veces para examinar las implicaciones de adoptar diferentes alternativas de diseño;
- (ii) — modelos analíticos *optimizadores*, principalmente de la variedad matemática programadora que intenta determinar la forma óptima de lograr un objetivo."

Ambas clases de modelación pueden ser utilizados para el desarrollo de proyectos de hidroenergía. Los modelos optimizadores pueden ser particularmente valiosos donde la hidroenergía vaya a ser agregada a

which either (1) thermal systems are reasonable alternatives to be considered, or (2) the existing system contains thermal energy production and the hydropower must be properly valued.

In less complex situations, one may be more interested in simulating the hydrologic system than in optimising the operation, at least during the early stages of investigation. In mini-hydro investigations, one is probably uninterested, except in a theoretical way, in any simulation whatsoever.

The classification of simulation models is not all that well-defined. There are those that claim to model the physical processes, while others are presented as being only approximate (based on empiricisms).

As Diskin (1980) indicates,..."The most important problem to the potential user [of models] is probably the choice between the comprehensive model versus the specific model. The comprehensive model claims that it reproduces all processes that take place in the watershed. It is thus presented as a tool that can meet the needs of all potential users. The specific model, as its name implies, is intended to supply only one type of design data. An example of such a model may be one producing monthly runoff volumes. Other examples include a model producing snow melt hydrographs or a model for converting extreme storm rainfalls into design runoff hydrographs. A specific model also usually produces other data as a by-product, but the accuracy and value of these additional data are inferior to those data for which the model is constructed." He concludes...,"*Practice gained in the analysis and use of various models appears to be the only tool available to the applied hydrologist for assessing the usefulness of a hydrologic model in the process of planning and management of a water resources project in a given watershed*" (emphasis added). As a matter of policy, it is probably beneficial to introduce modeling capabilities early in the planning process, since the development of capabilities is not without problems inherent in the learning process. Furthermore, modeling may also assist in guiding the decision to implement data collection networks. In general two approaches are used in the development of hydrological models: stochastic or deterministic (and, of course, combinations of the two).

In the stochastic approach, the variables

un sistema ya en existencia en el que (1) los sistemas termaltes constituyen una alternativa viable que debe ser considerada, o (2) el sistema en existencia contiene producción de energía termal y la hidroenergía debe ser propiamente evaluada.

En situaciones menos complejas, uno quizás esté más interesado en simular el sistema hidrológico que en optimizar la operación, por lo menos durante las primeras etapas de la investigación. En investigaciones de la mini hidroenergía probablemente uno no esté interesado en simulación alguna, excepto como un ejercicio teórico.

La clasificación de los modelos de simulación no está bien definida. Hay quienes profesan modelar los procesos físicos, mientras otros presentan sólo aproximaciones (básicamente empíricas).

Como Diskin (1980) indica...“El problema más importante para el consumidor potencial (de los modelos) es probablemente el dilema de tener que escoger entre el modelo de alcance total vs. el modelo de alcance específico. El modelo de alcance total sostiene que él reproduce todos los procesos que se llevan a cabo en la cuenca pluviométrica. Por lo tanto se la presenta como una herramienta que satisfacer la necesidades de todos sus consumidores potenciales. El modelo específico — como lo implica su nombre — está diseñado para proveer un sólo tipo de información. Un ejemplo de este modelo podría ser uno que produzca boletines mensuales sobre la afluencia de un río. Otros modelos podrían ser un modelo que produjera hidrográfos sobre nieve derretida u otro que convierta datos sobre fuertes tormentas en hidrográficas sobre el diseño de los torrentes. Los modelos específicos usualmente producen también otra información como derivación, pero la exactitud y valor de esta información adicional son inferiores a aquellas para las cuales se construye el modelo.” Y concluye...,“*La práctica obtenida en el análisis y uso de estos diferentes modelos parece ser la única herramienta disponible al hidrólogo para evaluar la utilidad de un modelo hidrológico en el proceso de planear y administrar un proyecto sobre recursos acuáticos en una cuenca específica* (el énfasis es añadido). Como norma, es probablemente beneficioso introducir al principio del proceso de planificación, capacidades para implementar modelos, ya que el desarrollo de estas capacidades no deja de tener problemas inherentes al proceso de aprendizaje. Además, la modelación ayuda a guiar la decisión para implementar un sistema recaudador de datos. En general, se utilizan dos métodos en el desarrollo de modelos hidrológicos:

are regarded as being statistical in character, having probability distributions which may be functions of time (an excellent reference is Clarke, 1973). It is important not to be easily deluded by stochastically generated time-series. First, the model is absolutely dependent upon historical data for the estimation of the statistical parameters. The validity of those sample statistics is very much a function of the quality and quantity of the data from which they were determined; however, all suffer from “sample error”. Second, the basic assumption is that the “world” to be generated synthetically actually is represented by such a model. Both assumptions can introduce problems for the conceptualization of the validity (and value) of the results.

The main problem in use can often be that referred to earlier: the computer. Since it is a very simple matter to program a computer to generate the stochastic data, it is altogether too easy to be misled into believing that from, say, 10 years of basic data one can generate a 1000-year sequence of more valid events. The hydrologist should always keep in mind the length of the historical record upon which his model is based. As a matter of understanding the importance of “simple error” the reader is encouraged to review Benson (1960), in which a 1000-year population was postulated and small samples of various sizes were selected randomly. Frequency analyses were then made of the variously sized samples.

A final caution in the use of stochastic models: many series of different lengths can be generated, no one of which will reproduce the historical sequence — in a statistical sense, however, the characteristics of the generated series will converge to those of the original sample from which they were derived. This does not mean anything, except that the model will reproduce the sample. It should not be used as proof that the extremely long generated series has any inherent great value. Nevertheless, there are at least five important values of correctly applied stochastic models: (1) they suggest other (perhaps more critical) orders of equally likely series which can be evaluated for their impact, (2) even if local data are unavailable, it is possible that a model can be used with statistics determined by regional analyses, (3) it is possible to generate many sequences of possible occurrences from which levels of confidence in their

estocástico o determinista (y naturalmente, una combinación de los dos).

En el método estocástico se considera que las variables son de carácter estadístico cuyas distribuciones de probabilidad pueden ser funciones de tiempo (una excelente referencia es Clarke, 1973). Es muy importante no dejarse ilusionar fácilmente por las series de tiempo generadas estocásticamente. En primer lugar, el modelo dependiente totalmente de la información histórica utilizado para el cálculo de los parámetros estadísticos. La validez de dichas muestras estadísticas es definitivamente una función de la calidad y cantidad de la información sobre la cual se las determinaron; sin embargo, todas sufren el "error del muestreo". En segundo lugar, la suposición básica es que el "mundo" a generarse sintéticamente está realmente representado por dicho modelo. Ambas suposiciones pueden presentar problemas para la conceptualización de la validez (y valor) de los resultados.

El problema principal en utilizarlo puede ser frecuentemente aquel al cual nos referimos anteriormente: la computadora. Como programar una computadora para que genere la información estocástica es una cosa muy simple, al mismo tiempo es muy fácil ser despistado al creer que, por ejemplo, de los datos básicos de 10 años uno pueda generar una secuencia de 1000 años más de eventos válidos. El hidrólogo tiene que tener siempre presente la longitud de sus datos históricos sobre los cuales está basado su modelo. Para poder comprender la importancia del "error del muestreo", se le recomienda revisar Benson (1960) en el cual se postula una población a 1000 años y se seleccionaron al azar pequeñas muestras de diferentes tamaños. Posteriormente estas muestras de diferente tamaño fueron objeto de análisis de frecuencia.

Una precaución final en el uso de modelos estocásticos: se puede generar muchas series de diferente longitud, y ninguna de ellas reproducirá la secuencia histórica — aunque, estadísticamente hablando, las características de las series generadas convergirán con las de la muestra original de donde fueron derivadas. Esto no significa nada, excepto que el modelo reproducirá la muestra. No se debe usar como prueba el hecho de que las series generadas para longitudes extremas tengan gran valor inherente. Sin embargo existen por lo menos cinco valores importantes en la aplicación correcta del modelo estocástico: (1) sugieren otros (quizás más importantes) órdenes de series similares que pueden ser evaluadas por su impacto, (2) aún cuando no

application could be estimated, (4) they can be used to "fill in" missing data with values that preserve the stochastic nature of the original series, and (5) where, as is most often the case, rainfall data is more available than runoff data, they can be applied to the rainfall series and the generated rainfall sequences used with more deterministic rainfall-runoff models in order to generate runoff sequences.

In hydropower studies we are generally concerned with methods by which streamflow series can be developed. Of particular interest tend to be the rainfall-runoff process models.

A number of deterministic models exist that variously conceptualize the physical processes within the watershed. They may be used with (among others) precipitation data in order to develop the hypothesized streamflow. One well-known example, developed by the U.S. Corps of Engineers, is the SSARR model. In this model, the precipitation is distributed between runoff and soil moisture recharge. A soil moisture index and rainfall intensity is required. Runoff is distinguished between base flow and direct runoff and the direct runoff is characterized by subsurface and surface. Storage zones are fed by the runoff components, the sum of which is taken as the streamflow for the watershed. Precipitation and monthly values of evapotranspiration (or weighted pan evaporation) data are required. Other factors can be established as constants or with tabulated functions. The calibration is executed by trial and error — requiring an existing streamflow series. Obviously, the model's accuracy gives satisfactory results only when sufficient data exists.

A more sophisticated model with a more complete physical base is the *Stanford Watershed Model* (and its more highly developed extension and improvement the *Hydrocomp Simulation Program*). These models require a great deal more input — rainfall, temperatures, radiation, wind speeds, monthly or daily pan evaporation.

Others, such as the Sacramento Model and the SHE (Système Hydrologique Européen), exist as well, as do numerous others developed for specific applications. But for generation of mean monthly data, all of these models tend to be much too detailed for the level of data commonly available.

The choice of model is often guided by the size of the watershed. Smaller watersheds will pro-

exista, información local es posible que se pueda usar un modelo con estadísticas determinadas por análisis regionales, (3) es posible generar muchas secuencias de posibles acontecimientos que permitan estimar niveles de confianza en su aplicación, (4) se las puede utilizar para "rellenar" la información ausente con valores que preserven la naturaleza estocástica de las series originales, y (5) en los lugares donde es más fácil de obtener información sobre la caída de la lluvia que la información sobre el torrente, que es lo normal, se la puede aplicar a la serie de las lluvias caídas y utilizar las secuencias generadas de lluvias caídas con modelos más deterministas de la caída de lluvias — torrentes para generar las frecuencias de los torrentes.

En los estudios hidroenergéticos generalmente estamos interesados en métodos que contribuyan a desarrollar series hidrométricas. De interés especial tienden a ser los modelos sobre el proceso de la lluvias torrentes.

Existe un número de modelos que de diferentes maneras conceptualiza los procesos físicos dentro de la cuenca. Estos pueden ser utilizados conjuntamente (entre otros) con datos sobre precipitación para desarrollar el caudal hipotético. Un ejemplo bien conocido creado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos es el modelo SSARR. En este modelo la precipitación es distribuida entre el torrente y la humedad restablecida del terreno. Se requiere un índice de la humedad del terreno y de la intensidad de las lluvias. Se distingue entre el flujo básico y torrente directo, y el torrente directo se caracteriza en términos de nivel bajo la superficie y a nivel de la superficie. Las zonas de almacenamiento son alimentadas por los componentes de la afluencia, la suma de la cual se toma como el caudal de la cuenca. Se requieren datos sobre precipitación y valores mensuales de evapotranspiración (o evaporación del tanque cargada). Se puede establecer otros factores como constantes o con funciones tabuladas. Se ejecuta la calibración experimentalmente requiriendo una serie de datos sobre el caudal. Es obvio que la exactitud del modelo resulta sólo cuando existe suficiente información.

Un modelo mucho más sofisticado, con una base física más completa es el *Modelo de la Cuenca Stanford* (y su *Programa de Simulación Hidrocomp* que es una extensión mucho más altamente desarrollada y mejorada). Estos modelos requieren una mayor cantidad de información — lluvias, temperaturas, radiación, velocidades del viento, y datos con evaporación cotidiana o mensual.

bably be more suitable for representation by the highly detailed physically-based models. As the area covered increases, there is usually a need to employ larger time units in the computations, thus the coefficients and parameters tend to depart from or lose their original meaning.

Finally, there is the natural desire to use models for which the coefficients and parameter values could be easily transferred from a region of known values to another with insufficient data. Such presumed sophistication would be very desirable. As Body (1980) says, however, such is not yet the case:

"Many models have been developed which attempt to describe the form of relationships which exist in a basin. In some instances particular models will provide excellent results for specific purposes, such as time series extrapolation. However, it seems that no such model has been successful in providing a framework into which basin characteristics can be inserted with any confidence that the streamflow time series produced will provide parameters any more accurate than those derived from the regression approach".

Since this report is not intended to be used as a field manual, the details of streamflow measurement will not be discussed. Many books and manuals give excellent advice on various methods by which the flow can be measured (see, for example, Buchan and Somers, 1969, or Alward, et. al., 1977). For large installations a stream gauging procedure will probably involve considerable care and effort by technically trained individuals. For mini-hydro installations the process will more than likely be undertaken by persons relatively inexperienced. The guides referred to above will serve to instruct such individuals satisfactorily in the techniques required.

It is important that individuals interested in a mini-hydro installation be aware of the inevitable fluctuations in flow from day to day and season to season. In general, these installations will be concerned with the minimum flows that will be available. But whether minimum flow or flows during specific seasons are of concern, it is important that the individuals familiarize themselves with the typical patterns of flow in the stream. This may require measurements over a prolonged period of time.

Otros, tales como el Modelo Sacramento y el SHE (Sistema Hidrológico Europeo) existen al igual que otros que han sido desarrollados para aplicaciones específicas. Pero, para generar promedio mensual todos estos modelos tienden a ser más detallados que el nivel de información normalmente disponible.

El tipo de modelo a escoger es generalmente determinado por el tamaño de la cuenca. Las cuencas pequeñas probablemente serán más adecuadas para representación por los modelos basados en gran cantidad de detalles físicas. A medida que el área a cubrir aumenta usualmente hay necesidad de emplear unidades de tiempo más grande en las computaciones así que los coeficientes y parámetros tienden a alejarse de o a perder su significado original.

Finalmente, existe un deseo natural de usar modelos cuyos valores de coeficientes y parámetros puedan ser fácilmente transferidos de una región de valores conocidos a otra con datos insuficientes. Tal sofisticación presumida sería muy conveniente. Sin embargo, como lo dice Body (1980), éste no es el caso todavía:

“Se han desarrollado muchos modelos que intentan describir la forma de las relaciones que existen en una cuenca. En algunos casos ciertos modelos pueden proveer excelentes resultados para propósitos específicos tales como la extrapolación de series de tiempo. Sin embargo, es aparente que ningún modelo hasta ahora ha tenido éxito en proveer un esquema en el que las características de la cuenca puedan ser incluidas con la confianza de que con las series de tiempo producidas se proveerán parámetros más exactos que los derivados por el método de regresión.”

**Medidas del Terreno.** Como al escribir este artículo no se ha tenido la intención de que se lo utilizara como manual de campo, no se tratará sobre los detalles para las medidas hidrométricas. Muchos libros y manuales dan excelentes guías sobre los diferentes métodos para medir las corrientes (por ejemplo, Buchan y Somers, 1969, o Alward, et. al, 1977). Para las de instalaciones gigantes el procedimientos para instalar escalas hidrométricas probablemente implicará esfuerzos considerables de parte de un equipo de individuos técnicamente entrenados para ello. Para las instalaciones de plantas de mini hidroenergía, el proceso, en la mayoría de los casos, será ejecutado por personas relativamente inexpertas. Las guías a que nos referimos anteriormente servirán para instruir satisfactoramente a estas personas en las técnicas requeridas.

One must also determine, as quantitatively as possible, whether the period during which the measurements were made was wet or dry. In general, the procedures mentioned before for correlation with other areas will apply, however, this level of sophistication will probably not occur with most mini-hydro developers. In fact, it is probably unnecessary in most instances since the question most frequently being asked is the availability of firm power during periods of critical streamflow. For that estimate only a lower limit is required — and in many cases the amount of flow in a stream will exceed that which the developer would wish to divert for power. On the other hand, high flow periods may be equally important since during those periods the effective head for small impoundments may prove to be so low as to be of no value in generating electricity. This point should not be overlooked and may be important in considering installation designs.

### **What If You Have No Data?**

Because the title of this section is one which is raised regularly, in particular, by those interested in developing mini-hydro units, it needs careful consideration. First of all, in the absence of any data (quantitative or qualitative), one would be well advised *not* to invest any funds whatsoever. On the other hand, it would be a rare situation that would preclude any investigation that could provide some guidance. The point is, if no specific data exists at your site, you should apply the type of techniques described earlier. Site visitation is always required — one should never consider a hydrologic study complete without site verification. Would it not be a professional waste of time (not to mention a personal embarrassment) to find that months of regional correlation, etc. were valueless because the basic map erroneously showed the stream flowing in the wrong direction?

Furthermore, site visitations should be used to verify office calculations. And site visitations can provide considerable qualitative information concerning the history of flow variation: flood plain location, vegetative growth variations, material lodged in trees from previous high flows, etc. The best maps, in any case, may offer only educated guesses as to the true ground contours. Trees often grow much better (and taller) in the low areas — and maps (even aerial photographs) will

Es importante que las personas interesadas en la instalación de plantas de mini hidroenergía, estén enteradas de las fluctuaciones inevitables que ocurren en las corrientes día a día, y de estación a estación. Generalmente, estas instalaciones tienen interés en las corrientes mínimas que estarán disponibles. Sin embargo, ya sea que estas instalaciones estén interesadas en dichas corrientes mini más o con las corrientes durante estaciones específicas, es importante que estas personas se familiaricen con los patrones típicos del flujo de la corriente. Esto puede requerir que se tomen medidas durante largos períodos de tiempo.

También uno tiene que determinar, lo más cuantitativamente posible, si las medidas tomadas fueron obtenidas durante períodos de humedad o de sequía. Generalmente se aplicarán los procedimientos mencionados anteriormente para correlación con otras áreas; sin embargo, este nivel de sofisticación probablemente no ocurrirá con la mayoría de los que desarrollen plantas de mini hidroenergía. De hecho, es probablemente innecesario en la mayoría de los casos ya que la interrogante más importante es la de disponibilidad de energía durante los períodos críticos del flujo de las corrientes. Para esa clase de cálculos se necesita solamente un límite bajo, y en la mayoría de los casos la cantidad de corriente en el río excederá la cantidad que el técnico querrá desviar para generar energía. Por otra parte, períodos de grandes corrientes son también importantes pues durante tales períodos la caída efectiva para pequeñas represas podría ser tan baja que no se la pudiera utilizar para la generación de electricidad. No debemos pasar por alto este punto, y puede ser muy importante que se lo considere al diseñar las instalaciones.

### **¿Qué Ocurre Si No Hay Ninguna Información?**

Debido a que el título de esta sección es una pregunta frecuentemente formulada, principalmente por aquellos interesados en el desarrollo de plantas de mini hidroenergía, debemos darle consideración especial. Primero que todo, si no existe ninguna información (cuantitativa o cualitativa) el mejor consejo a seguir es el de *no* invertir. Por otra parte, sería muy extraño no encontrar una buena razón que justifique una investigación con el objeto de obtener cierta dirección. El punto es que si no existe ninguna información específica sobre el lugar, habrá que aplicar el tipo de técnicas descritas anteriormente. Siempre es necesario visitar el sitio — uno nunca debe considerar que un proyecto hidrológico está completo hasta haber verificado el lugar. ¿No sería

sometimes indicate smooth transitions in areas with extreme relief.

### **Flow-Duration Analysis**

The characterization of flows at a specific site can be made with varying degrees of sophistication, dictated to a great extent by the availability and type of data. In general, the only "given" in hydrology is that there will almost never have been data accumulated precisely where it is needed. Thus, almost any hydrologic analysis will require transposition, regionalization, statistical generalization or some other technique for deriving information at a specific site from data gathered at other locations.

The ultimate goal in the hydrologic analysis would be to develop an appropriate time series of flows at the specific site. From that time series will ultimately be determined the potential installed capacity and the energy which can be developed therefrom.

Although not the only way the time series can be used, the flow-duration approach is perhaps the most easily understood. It is widely used in practice. In this procedure the data must be condensed in order to provide working curves. The very act of condensing can influence the annual energy values calculated.

In a flow-duration analysis the time series is rank-ordered by annual, monthly, weekly or daily mean flows according to magnitude. The use to which the information is to be put determines the choice of time interval. The rank-ordered values are then assigned order numbers, the largest beginning with order 1. As an alternative approach the series can be ordered by class intervals, with the number in each class interval used in further calculations. The order numbers are then divided by the total number in the record and multiplied by 100 — representing the percent of time intervals (days, weeks, etc...) that a particular mean flow has been equaled or exceeded during the period of record analyzed. The flow value is then plotted versus the respective "exceedance percentage". As in any statistical analysis, the value of the information contained is a function of the length of record. References to flow-duration curves are usually made as  $Q_{50}$ ,  $Q_{30}$ ,  $Q_{10}$ , etc., indicating the flow values at the percentage point subscripted.

As noted before, the choice of time interval or analysis procedure will be governed by the use to which the results will be put. A very simple



realmente una pérdida de tiempo profesional (sin mencionar la pena personal) si después de meses de correlación regional, etc. toda esta información fuera inútil debido a que el mapa equivocadamente mostró el río corriendo en dirección contraria?

Además, estas visitas al lugar deben ser usadas para verificar los cálculos hechos en la oficina. También estas visitas al lugar pueden proveer considerable información cualitativa en relación a la variabilidad de las corrientes: ubicación de las inundaciones, variación en el crecimiento de la vegetación, materiales depositados en los árboles durante previas corrientes altas, etc. Los mejores mapas — en cualquier caso — sólo pueden ofrecer conjeturas refinadas en relación al verdadero contorno del terreno. Los árboles crecen mucho mejor (y más altos) en áreas bajas -- y los mapas (aún fotografías aéreas) en ciertas ocasiones muestran transiciones uniformes en áreas con grandes relieves.

### **Análisis de la Duración del Flujo de las Corrientes**

La caracterización de las corrientes en un lugar específico puede ser obtenida con diferentes grados de sofisticación dictado en gran medida por la disponibilidad y tipo de la información. Generalmente, el único "axioma" en hidrología es que casi nunca habrá información acumulada precisamente donde más se necesita. Por lo tanto, cualquier análisis hidrológico requerirá transposición, regionalización, generalización estadística, o alguna otra técnica para derivar información, en un lugar específico, de datos obtenidos en otros lugares.

El objetivo primordial de un análisis hidrológico es el de crear una serie de tiempo sobre las corrientes en el lugar específico. De estas series de tiempo se determinará finalmente el potencial de la capacidad instalada y la cantidad de energía que se podrá obtener de tal unidad.

Aunque ésta no es la única manera en que se pueden utilizar las series de tiempo, el método de duración de las corrientes es quizás el que es más fácil de comprender, se es usa mucho en la práctica. En este procedimiento la información es condensada para así dar lugar a curvas con las que se puede trabajar. El mismo acto de condensar la información puede influenciar los valores anuales calculados de energía.

En un análisis de duración de las corrientes las series de tiempo se ordenan de acuerdo al rango en términos del promedio anual, mensual, semanal o el promedio fluvial cotidiano de acuerdo con la

energy model, used for preliminary potential analysis, can be made on the basis of the daily flow observations over the period of record (approximately  $365N$  days, where  $N$  is years of record). It must be realized, however, that this "daily" method of analysis submerges low-flow years and low-flow within-year periods in one overall record. The percentages indicate the average relative frequency over the period of record only. It is helpful when using such a procedure to show typical annual hydrographs as well so that critical within-year periods will be identified. (see Figure 2).

The same procedure, with the same limitation can be done using monthly mean values. The record in that case will consist of  $12N$  items of data. Because the monthly mean values will camouflage within-month variations, the flow-duration curve will look somewhat different from a daily flow analysis and, as a result, will be somewhat less useful in design considerations. Of course, the same arguments would hold for flow-duration curves developed from annual mean values.

Because flows at specific sites generally follow cyclical variations as a function of within-year periods, greater value can be derived if the analysis is based on monthly flow-durations. This may be done in at least two manners. In one, all the January means (for example) are listed as a data series of  $N$  values, and the analysis made. The monthly averages used, however, will mask the within-month variations. Thus, an analysis of all the daily January flows (in this example) will provide a better basis for design consideration. Depending upon the purpose of the analysis, it may only be necessary to evaluate the critical monthly periods (which for small hydro should include the high-flow as well as the obvious low-flow months).

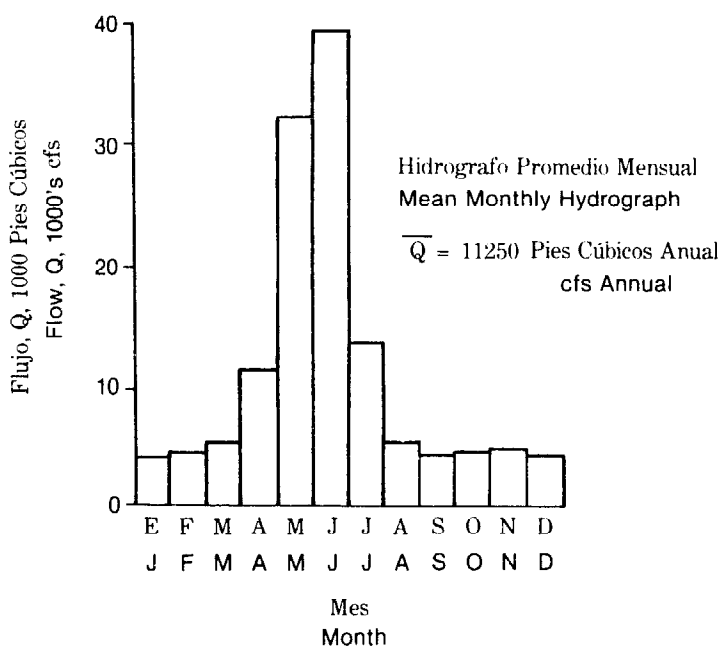
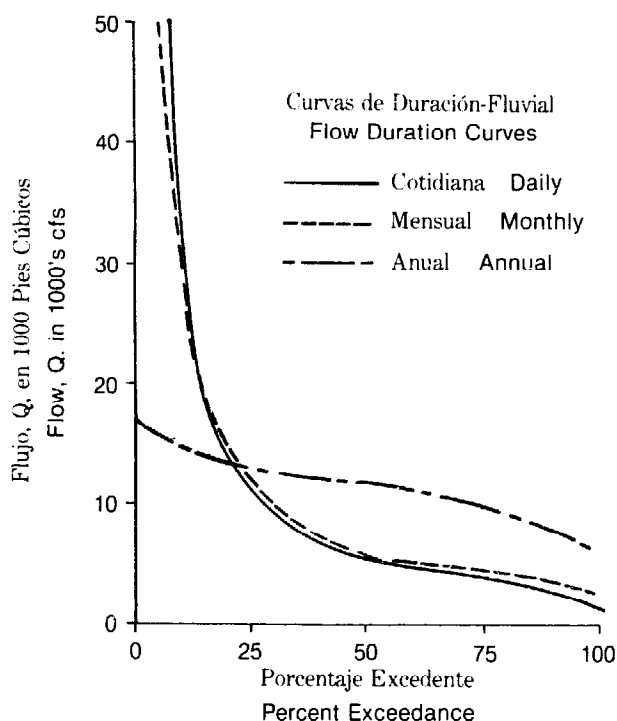
Another procedure might be to attempt to provide "index" years. In this procedure, the yearly average flow duration curve is prepared first. From this, the  $K$ -th percentile index year may be identified. By using the historic monthly and daily flows occurring during the selected index years, the capacity and energy characteristics can be determined. Although this procedure has been called "probabilistic", it is only the index year that has any true probabilistic inference. There is nothing certain about the probability of that year's within-year distribution of flow. Thus, it is

magnitud. El uso que se dará a ésta información determinará el tipo de intervalo de tiempo que se escogerá. Luego se asigna números los valores ordenados por rango, el más grande empieza con el ordinal 1. Como método alternativo se puede ordinar las series por intervalo de clase, utilizando el número de cada intervalo de clase en las computaciones subsiguientes. Después se dividen los números ordinales por el número total en el registro y se multiplica por 100 — representando el porcentaje de los intervalos de tiempo (kías, semanas, etc...) en el que un promedio fluvial específico ha sido igualado o excedido durante el período del registro analizado. El valor fluvial es después representado gráficamente comparándolo con el “porcentaje excedente” respectivo. Igual que en cualquier otro análisis estadístico el valor de la información es una función de la longitud del registro. Usualmente se hacen referencias a las curvas de duración-fluvial con  $Q_{50}$ ,  $Q_{30}$ ,  $Q_{10}$ , etc. indicando el valor fluvial mediante el porcentaje suscrito.

Como anotáramos anteriormente, la selección de los intervalos de tiempo o los procedimientos de análisis serán determinados por la forma en que se

very important to inspect that year for any perceived anomalies and, since the acceptance of an “index” year concept is a subjective decision, there may be some advantage to purposely “normalizing” the within-year distribution. By ordering the index year daily flows, a more realistic and useful flow duration curve for determining capacity and annual energy will be available for that selected year. It has been suggested that the  $Q_{50}$  index year can offer a good estimate of primary energy, anything above that value being secondary. Figures 2 through 4 show some of the various flow-duration techniques by example. Experience has shown that the  $Q_{20}$  or  $Q_{30}$  values are good starting places for sizing equipment.

In some areas of the world, experience may have shown or hydrologic studies may suggest, that average annual flows may be estimated based on some key variables. In New England (USA), for example, it has been found that the precipitation varies between 20” to 30” per year. A useful rule of thumb (Mayo, undated) is to assume 2 cfs per square mile drainage area as



**Figura 2. Análisis Fluviales Cotidiano, Mensual y Anual; Río Salmón en Whitebird, Idaho, U.S.A.**

**Figure 2. Daily, Monthly and Annual Flow Analyses; Salmon River at Whitebird, Idaho, U.S.A.**

utilizarán los resultados. Se puede crear un modelo de energía bastante simple, que se utiliza para análisis del preliminar potencial, basado en observaciones fluviales cotidianas durante el período registrado (aproximadamente, 365N días, donde N es el número de años registrados). Debemos tomar en cuenta que con este método "cotidiano" de análisis se sumergen los años de bajo-flujo y los períodos de bajo-flujo dentro de un año en un solo registro total. Los porcentajes indican el promedio de la frecuencia relativa sólo durante el período registrado. Cuando se utiliza tal procedimiento es conveniente mostrar hidrográficas anuales típicas también para que se puedan identificar los períodos críticos contenidos dentro del año. (Figura 2).

El mismo procedimiento, con las mismas limitaciones puede ser efectuado utilizando valores promedio mensuales. El registro en este caso consistirá de 12 N puntos de información. Debido a que los valores promedio mensuales van a camuflar las variaciones que ocurren dentro del mes, la curva de duración fluvial tendrá una apariencia distinta de la del análisis fluvial cotidiano, y como resultado será menos útil en la consideración del diseño. Naturalmente que los mismos argumentos se pueden esgrimir para las curvas de duración fluvial derivadas de valores promedio anuales.

Debido a que las corrientes en ciertos lugares específicos obedecen a variaciones cíclicas como función de períodos dentro del año, se puede derivar un valor mayor si el análisis es basado en duraciones fluviales mensuales. Esto se puede hacer por lo menos de dos maneras. En una, se ordenan todos los promedios de enero (por ejemplo) como una serie de datos de valores N, y se hace el análisis. Sin embargo, hay que tener presente que al utilizar los promedios mensuales, éstos van a enmascarar las variaciones que ocurren dentro del mes. Por lo tanto, un análisis de todo el flujo cotidiano durante enero (en este ejemplo) va a resultar en una mejor base para la consideración del diseño. Dependiendo del propósito del análisis puede que sólo se necesite evaluar los períodos mensuales críticos (los que para unidades pequeñas de hidroenergía deben incluir los períodos de alto flujo al igual que los meses obvios de bajo flujo).

Otro procedimiento podría ser el de intentar desarrollar años "índices". En este procedimiento se prepara primero la curva de duración fluvial anual. De aquí se puede identificar el año índice K-percentile. Usando los datos fluviales históricos, mensuales y cotidianos, que ocurrieron durante los años índices

the corresponding 20 to 30 percent exceedance flows.

More often than not in developing countries, the data for site hydrologic analyses will be quite limited. Even in the United States, a country that by general standards could be considered to have a wealth of data, it is almost always necessary to adjust remote information.

The recently completed study at the Idaho Water Resources Research Institute (Gladwell, et. al., 1979) had as one of its goals a complete hydroelectric potential analysis of the Columbia River system in the United States. We chose to use the daily flow-duration procedure with accompanying average annual hydrographs. Since it appeared evident that such a task would greatly exceed our capability to depend upon "nearby" gauges, a different approach was called for. A regionalized approach was developed that included availability of an estimate of mean annual precipitation values. The procedures used permitted the development of synthetic flow-duration curves at any point on any stream in the region, within the constraints of the process. This, in combination with the site physical data allowed the calculation of the potential energy under a series of assumed installed capacity levels.

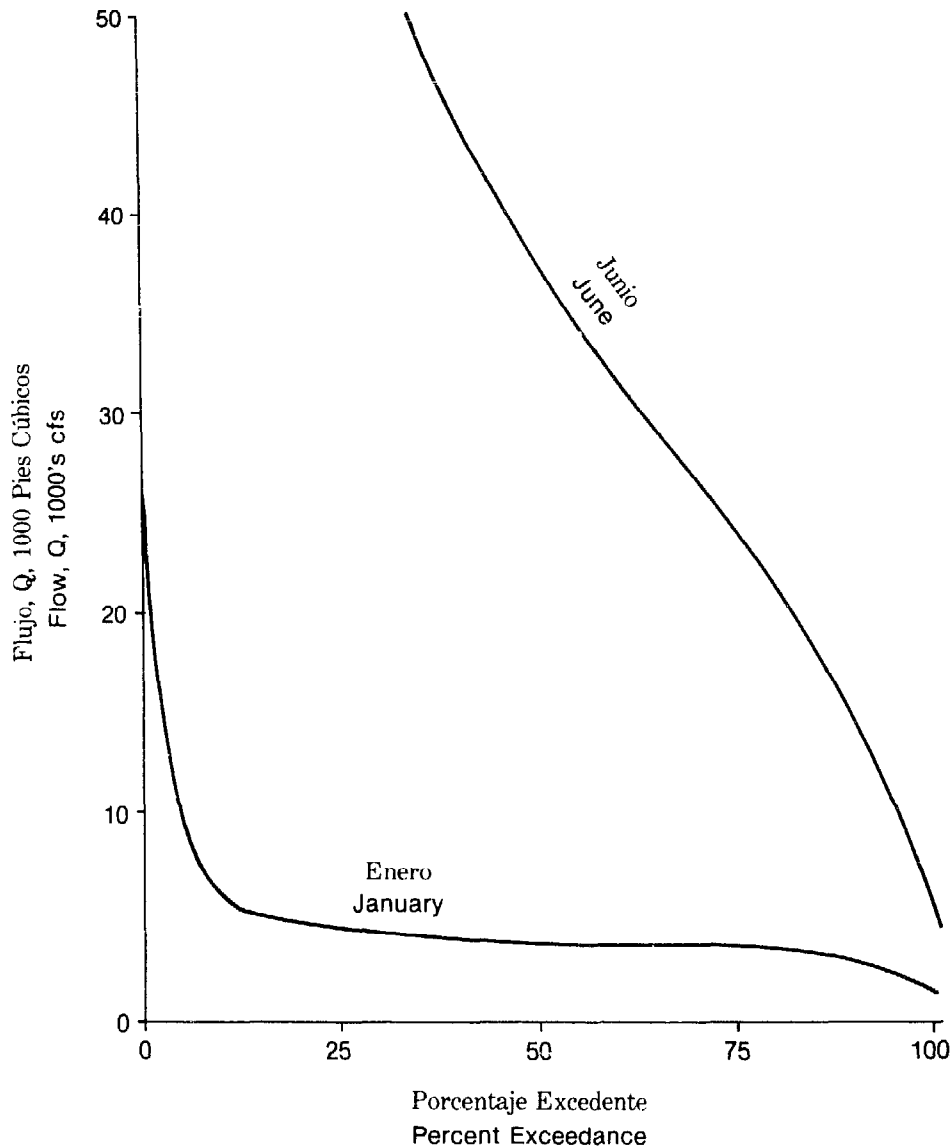
If records are to be compared with each other or used in regional analyses, they should of course represent concurrent periods. It is important that the differences in records reflect those of climate and/or drainage basin characteristics and not simply those of different time periods. Even if no regional studies are contemplated, it is important to extend the records, if it is possible to add information by so doing. Techniques were discussed earlier concerning the general subject of extending records and filling gaps.

A method for directly extending flow-duration curves has been suggested by Searcy and Hardison (1959). In this procedure, called the *index-station method*, a relationship is established between two stations. The procedure begins by using the data of the overlapping time period to derive two flow-duration curves. The pairs of discharges corresponding to given exceedance percentages are then plotted against each other (as shown in Figure 5). The graph for this short period is assumed to represent the relationship between the two stations and, thus, would correspond for the longer period. If this is

seleccionados, se pueden determinar las características de capacidad y energía. A pesar de que este procedimiento ha sido llamado "probabilístico" es sólo el año índice el que realmente posee verdadera inferencia probabilística. No existe ninguna certeza acerca de la probabilidad de la distribución fluvial anual dentro de ese año. Por lo tanto es muy importante inspeccionar ese año en busca de anomalías percibidas, y como el aceptar el concepto

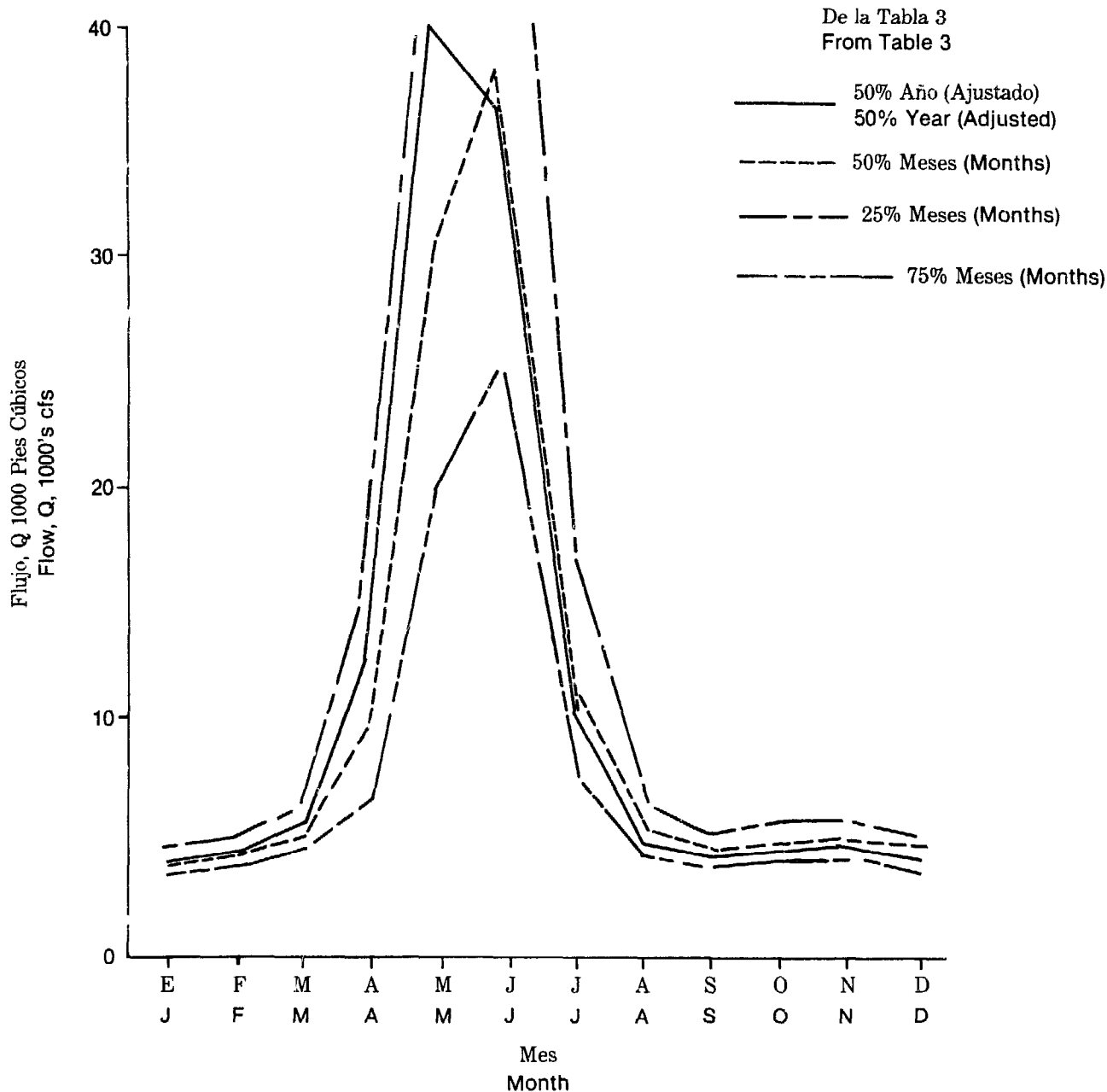
true, one can enter the graph with the known discharge value (at a specified exceedance level) of the long-record station and determine the corresponding value (at the same exceedance percentage) for the short-record station. Table 1 illustrates the procedure. Reasonable approximations appear to be possible using this procedure.

As will be seen later, flow-duration curves can be used (with other data) to determine optimal



**Figura 3. Curvas de Duración Fluvial Cotidianas para Junio y Enero; Río Salmón en Whitebird, Idaho**

**Figure 3. Daily Flow Duration Curves for June and January; Salmon River at Whitebird, Idaho**



**Figura 4. Análises de los Valores Fluviales Mensuales del 50% del Año Índice y de Curvas de la Duración-Fluvial Mensual**

**Figure 4. Monthly Flow Values from 50% Index Year and Monthly Flow Duration Curve Analyses**

de "año-índice" es una decisión subjetiva, se podrían derivar ciertas ventajas de la "normalización" intencional de la distribución dentro del año. Ordenando el flujo cotidiano del año índice se puede obtener una curva de duración fluvial mucho más realista y útil para determinar la capacidad y energía anual que habrá disponible para el año seleccionado. Se ha sugerido que el año índice

installed capacity and the energy derived therefrom. However, in its originally calculated form it represents conditions without storage. Its use also assumes that flow sequences are of little importance.

If it is important that flows not be permitted to drop below some arbitrary, but reasonable, value. Then clearly storage will be required. In that case

$Q_{50}$  puede ofrecer buenos estimativos para la energía primaria, siendo secundario cualquier otro valor por encima de éste. Las Figuras 2 a 4 ilustran algunas de las diferentes técnicas de la duración fluvial por medio de ejemplos. La experiencia ha demostrado que los valores  $Q_{20}$  o  $Q_{30}$  son excelentes puntos de partida para determinar el tamaño del equipo.

En ciertas partes del mundo la experiencia ha demostrado, o los estudios hidrológicos pueden sugerir, que los promedios fluviales anuales pueden ser calculados en base a ciertas variables claves. En Nueva Inglaterra (Estados Unidos), por ejemplo, se ha descubierto que la precipitación varía entre 20" a 30" por año. Una regla empírica bastante útil (Mayo, sin fecha) es la de suponer que 2 pies cúbicos por milla cuadrada de área de drenaje corresponde al 20 ó 30 por ciento de excedente fluvial.

Frecuentemente en los países en desarrollo la información sobre el sitio para basar análisis hidrológicos es bastante limitada. Aún en los Estados Unidos, un país que en términos generales puede ser considerado rico en información, es necesario casi siempre ajustar la información remota.

El estudio recientemente completado en el Instituto de Investigación de Recursos Acuáticos de Idaho (Gladwell, et. al., 1979) fijó como uno de sus objetivos formular un análisis completo del potencial hidroeléctrico del sistema fluvial del Río Columbia en los Estado Unidos. Decidimos utilizar el procedimiento de duración fluvial cotidiana conjuntamente con hidrográficas del promedio anual. Como era evidente que tal tarea excediría en gran parte nuestra habilidad para depender en calibradores "ceranos", necesitamos emplear un método diferente. Se desarrolló un método regionalizado incluyendo la disponibilidad de un estimativo del promedio de los valores de la precipitación anual. Los procedimientos utilizados permitieron el desarrollo de curvas sintéticas de la duración fluvial a cualquier punto de cualquier río de la región, dentro de los límites del proceso. Esto, en combinación con la información física del sitio permitió que se calculara la energía potencial bajo una serie de supuestos niveles de capacidad instalada.

Si se han de comparar registros entre si, o se los utilizará en análisis regionales, naturalmente ellos tendrán que representar períodos concurrentes. Es importante que la diferencia en los registros refleje aquellas características de clima y o drenaje de la cuenca y no simplemente aquellas pertinentes a los diferentes períodos de tiempo. Aunque no se contemple realizar estudios regionales es importante ex-

the flow below the reservoir will have flow-duration characteristics as indicated in the regulated flow-duration curve shown in Figure 6.

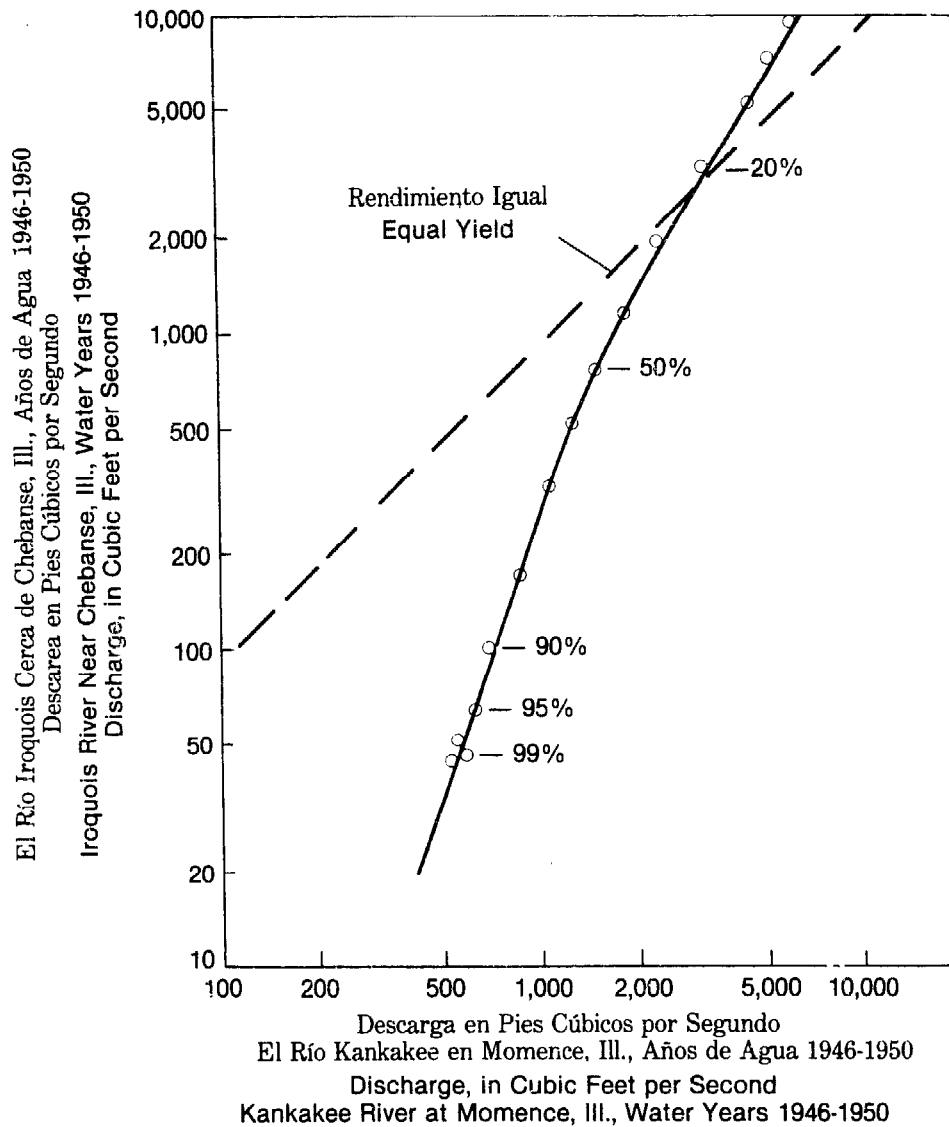
Such flow regulation would obviously make the turbines' use more effective by storing the higher flows when they appear and making them available during times when the flows would have normally been lower. In Figure 6, the volume of flows represented by abcd must equal that of efcd. The shaded area represents flow from storage. As a practical matter, it means that if, for example, we had installed a turbine with flow capacity equal to level f-g, then with the regulated flows it would run for 100% of the time. With unregulated flows, it would run under partial loads for periods of time.

### **Site Hydraulic and Physical Characteristics**

It should be understood that the hydrologic, hydraulic and physical characteristics referred to in this paper are limited in general to those directly influencing the hydroelectric generation. Considerable engineering work will also be necessary for dam design and general safety considerations — including safe and economic flood-flow passage. Where an existing dam is being considered, it is particularly important that a satisfactory safety inspection be made by a competent engineer.

The hydraulic head and variations thereof available for generation of hydro power is, of course, related closely to the development scheme devised. Where high heads are being developed, the variation may be minimally important. However, in lower head systems, it is important to study the site and proposed development scheme carefully to determine the relationship of head to discharge both in the reservoir (where used) and in the tailwater area. In this case, the maximum head will generally be available at lowest flows, whereas it is quite possible for the available head to be so small at extremely high flows as to make negligible the amount of power produced.

Although most small hydro developments will tend towards run-of-river, it is quite possible that a reservoir produced may be of sufficient volume to offer some regulation capability. It is, in any case, necessary to study the reservoir characteristics to determine the area to be inundated. Characteristics to be determined will include stage-capacity and area-capacity relationships, areal extent, and backwater effects. The physical



**Figura 5. Correlación Entre el Río Kankakee y el Río Iroquois Basado en Descarga con Igual Porcentajes de Duración**

**Figure 5. Correlation Between Kankakee River and Iroquois River, Based on Discharge of Equal Percent Duration. [Ref.: Searcy (1959)]**

tender los registros se se lo puede hacer añadiendo la información. Anteriormente se discutieron las diferentes técnicas relacionadas con el tópico general de extender registros y rellenar brechas.

Un método para extender directamente las curvas de duración fluvial ha sido sugerido por Searcy y Hardison (1959). En este procedimiento, llamado *método de estaciones índices*, se establece una relación entre dos estaciones. El procedimiento comienza por utilizar información que traslapa períodos de tiempo para derivar las curvas de

characteristics of the dam/reservoir site should also include groundwater and permeability characteristics to ensure the "tightness" of the reservoir.

Numerous site factors may control the eventual consideration of the potential development scheme. Many of these deal not so much with the specific site as they do with its relationship to other considerations. In the previously mentioned University of Idaho study (Gladwell, et. al., 1979), the following were considered in

Descarga en pies cubicos por segundos  
Discharge, in cubic feet per second

Duración en Porcentajes  Percent duration	Kankakee el río en Momence 1946-50  Kankakee River at Momence 1946-50	Iroquois el río cerca Chebanse 1946-50  Iroquois River near Chebanse 1946-50	Kankakee el río en Momence 1924-50  Kankakee River at Momence 1924-50	el río Iroquois cerca Chebanse, adjusted to 1924-50  Iroquois River near Chebanse, adjusted to 1924-50
99.5 .....	542	46	432	23
99.....	558	49	453	26.5
98.....	566	53	508	37.5
95.....	618	67	578	54
90.....	700	102	658	80
80 .....	882	188	822	150
70 .....	1,080	334	970	240
60 .....	1,280	525	1,130	380
50.....	1,580	750	1,370	580
40.....	1,930	1,150	1,680	880
30.....	2,500	1,990	2,100	1,320
20.....	3,440	3,220	2,770	2,130
10.....	4,640	5,300	3,940	4,000
5 .....	5,200	7,160	4,800	5,780
2 .....	6,380	9,700	5,780	7,800
1 .....	7,180	12,300	6,600	10,300
0.5 .....	8,000	14,600	7,210	12,100

Tabla 1. Descargas con el mismo porcentaje de la misma duración de dos Ríos en Illinois.

Table 1. Discharge of equal percent duration on two rivers in Illinois. (Ref.: Searcy (1959))

duración fluvial. Los pares de caudales correspondientes a los porcentajes excedentes son representados gráficamente uno contra el otro (como aparece en la Figura 5). Se supone que la gráfica de este corto período representa la relación entre las dos estaciones, y así corresponderían al período más largo. Si esto fuere cierto, entonces uno podría anotar en la gráfica el valor conocido del caudal (a nivel del excedente específico) de la estación de registros a largo plazo y determinar el valor correspondiente (al mismo porcentaje excedente) para la estación con registros cortos. La Tabla 1 ilustra el procedimiento. Aproximaciones razonables parecen ser posibles utilizando este método.

Como veremos más adelante, las curvas de duración-fluvial pueden usarse (con otra información) para determinar la capacidad óptima instalada y la

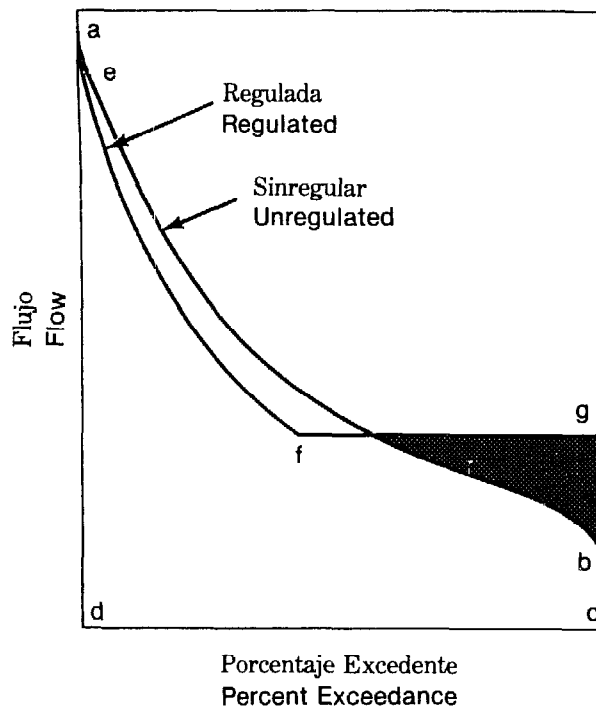
attempting to preliminarily rank the sites according to their potential feasibility: transmission line characteristics; local load characteristics; land use restrictions; utility and building displacement; and, fish problems.

The factors considered will vary depending upon the country or region, but a list of considerations should definitely be developed.

### Determining Hydroelectric Capacity and Energy

After completion of the basic hydrologic studies, alternative development arrangements can be investigated. One of the basic considerations is the impoundment or diversion scheme to be used. If reservoir storage capacity is to be involved then operation studies may be carried





**Figura 6. Curva de Duración-Fluvia!  
Regulada y Sinregular**  
**Figure 6. Regulated and Unregulated Flow-  
Duration Curve.**

energía que puede ser generada. Sin embargo, en la forma en que se la calculó originalmente, representa las condiciones sin almacenamiento. Su uso supone que la secuencia de las corrientes tienen poca importancia.

Si es importante que las corrientes no vayan por debajo de un valor arbitrario pero razonable entonces es obvio que será necesario el almacenamiento.

En este caso el flujo debajo del reservorio tendrá características de duración fluvial como se indica en la curva regulada de la duración fluvial ilustrada en la Figura 6.

Tal regulación del flujo obviamente contribuiría a hacer que el funcionamiento de las turbinas más eficiente mediante el almacenamiento a los flujos altos cuando aparezcan, y proveélos en tiempos cuando los flujos fueran normalmente más bajos.

En la Figura 6 el volumen de los flujos representados por a, b, c, d debe ser igual es a los de efgd. El área sombreada representa el flujo del reservorio. En términos prácticos, esto significa que si, por ejemplo, nosotros hubiéramos instalado una turbina con capacidad de flujo igual al nivel f-g, entonces con los flujos regulados funcionaría 100% del tiempo. Con

out. Reservoir operation studies are no more or less than accounting for water inflows and outflows, probably under some assumed operating schedules, to allow for safe flood passage, energy production, etc. A proper operation study will consider, where appropriate, reservoir volume loss due to sediment accumulation and water losses due to evaporation.

The information series available will, to a great extent, control the detail of the analysis. The availability of computers for calculation will greatly facilitate the handling of the data and will permit the investigation of a variety of alternative schemes.

A means of estimating the reservoir size that will be required to satisfy specified flow demand is Mass Cure Analysis. The details of this basic procedure, which are surely known to all civil engineers, will not be described here. However, it should be noted that there are many variations of the basic approach, a number of which are included in an excellent book by McMahon and Mein (1978).

The flow-duration approach to power and

flujo sin regulación funcionaría bajo cargas parciales por ciertos períodos de tiempo.

### **Características Físicas e Hidráulicas del Sitio**

Se debe entender que las características hidrológicas, hidráulicas y físicas a que nos referimos en este artículo están limitadas generalmente a aquellas que influyen directamente la generación de la hidroeléctricidad. Se necesitará también una gran cantidad de trabajo de ingeniería para el diseño de la represa y consideraciones de seguridad, incluyendo la seguridad y economía del pasaje del caudal del desbordamiento. Cuando se considere una represa en existencia es particularmente importante que se lleve a cabo una inspección satisfactoria de la seguridad hecha por un ingeniero competente.

La caída hidráulica, y sus variaciones, disponible para generar hidroenergía está, lógicamente, relacionada estrechamente al esquema del proyecto concebido. Donde se esté desarrollando caídas altas las variaciones son de importancia mínima. Sin embargo, en los sistemas de caídas bajas, es importante estudiar cuidadosamente el sitio y el esquema del proyecto propuesto para determinar la relación de la caída a la descarga tanto en el reservorio (cuando se lo use) como en el área de salida del agua. En este caso, la caída máxima generalmente estará disponible cuando los flujos sean más bajos; asimismo, es muy posible que la caída disponible sea tan pequeña en tiempos cuando los flujos estén a su altura extrema de modo que la cantidad de energía producida sea insignificante.

Aunque la mayoría de los proyectos para desarrollar plantas hidroeléctricas pequeñas tienden a aprovechar la corriente del río, es muy posible que un reservorio construido tenga volumen suficiente para ofrecer alguna capacidad regulatoria. En todo caso, es necesario investigar las características del reservorio para determinar el área que será inundada. Las características a determinarse incluirán las relaciones entre las etapas de capacidad, y la capacidad del área, extensión del área, y los efectos del remanso. Las características físicas del lugar para la represa/reservorio debe incluir también las características de aguas subterráneas y permeabilidad para asegurar el estado "hermético" del reservorio.

Hay numerosos factores en el lugar que pueden controlar la eventual consideración del esquema para el desarrollo potencial. Muchos de éstos no tienen tanto que ver con el lugar en sí como con las relaciones del mismo a otras consideraciones. En el

energy basically assumes no storage for flow regulation. It does permit, however, the incorporation of variable efficiencies of electric energy production as well as the relationship between effective head and discharge rate. A number of alternative capacities can be analyzed and cost comparisons made for eventual use in optimizing the system design.

The typical development will probably consider variable pitch propellers ("Kaplan turbines") very carefully because of the increased cost, in spite of the vastly superior maintained efficiency. The problem is that the efficiency curve for a fixed blade system will show a peak at which point the best use of the water occurs. A hydro plant with a single non-adjustable turbine will then have only one flow with peak efficiency. For a situation where there is some storage, it is possible that a single unit may be acceptable.

Where no storage exists, better use of the flow may sometimes be made if multiple turbine units are incorporated. Multiple units may be of equal size or, for greater overall efficiency, of unequal size. As Purdy (1979) explains, "A plant with two unequal size turbines has three peak efficiency points, a plant with three unequal size units has seven peak efficiency points. The ideal sizing is approximately 70-30 and 57-28-15, respectively." As he notes, the important advantage is the much improved operation during low flow. Also, because a large portion of the flow duration curve is used, the system can be operated much closer to run-of-river with little reservoir draw-down and, consequently, a high average head

Figures 7 and 8 show a simplified example (Fischer, 1979) of four equally sized turbines, the operation of which is superimposed first on a typical annual hydrograph, and second on a flow-duration curve. In periods of high water flow, the full capacity of all four units is exceeded — and presumably excess water is being discharged via spillways.

On the other hand, during the period of low flows one unit is used, and then only partially. Where the flow-duration curve is used (Figure 8), it can be seen that (in this example) one unit will operate 70 percent of the time at full capacity, two units will operate 40 percent of the time at full capacity, three units will operate 30 percent of the time at full capacity, and four units will operate only 20 percent of the time at full capacity. In this example, for 20 percent of the

estudio mencionado previamente de la Universidad de Idaho (Gladwell, et. al., 1979), se consideró lo siguiente lu un atento preliminar para jerarquizar los sitios de acuerdo con su factibilidad potencial: características de la línea de transmisión; características de la carga local; restricciones en el uso de la propiedad; desplazamiento de utilidades y edificios; y problemas de la pesca.

Los factores considerados variarán dependiendo del país or región; pero definitivamente se debe desarrollar una lista de estas consideraciones.

## **Determinando Capacidad y Energía Hidroeléctrica**

Después de completar los estudios hidrológicos básicos, se pueden investigar arreglos para desarrollos alternativos. Una de las consideraciones básicas es el esquema a utilizar de represa o desviación. Si se va a utilizar la capacidad de almacenamiento mediante un reservorio entonces se debe empezar los estudios de la operación. Los estudios de la operación del reservorio son ni más ni menos que la contabilidad de las entradas y salidas fluviales probablemente bajo algún programa de operación supuesta que permita el paso seguro de la creciente, producción de energía, etc. Un estudio operacional adecuado considerará siempre que sea apropiado, el volumen de la pérdida del reservorio debido a la acumulación de sedimentos y a las pérdidas de agua debido a la evaporación.

Las series de información disponible controlarán en gran medida el detalle del análisis. La disponibilidad de computadoras para hacer los cálculos facilitará enormemente la computación de los datos y permitirá la investigación de una variedad de esquemas alternativos.

Un medio de calcular estimativamente el tamaño del reservorio que se requerirá para satisfacer a demanda de flujo específico es el analisis de la curva de masa. Los detalles de este procedimiento básico que de seguro todos los ingenieros civiles lo conocen no serán descritos en este artículo. Sin embargo, debe notarse que existen muchas variaciones de ese método básico, un número de las cuales están incluidas en un excelente libro por McMahon y Mein (1978).

El método de la duración fluvial aplicado a la energía supone que no se necesita almacenamiento para la regulación fluvial. Sin embargo, permite la incorporación de eficiencias variables de producción de energía eléctrica lo mismo que la relación entre la caída efectiva y la medida de la descarga. Se puede

time, the flows exceed the turbine capacity and are not available for energy production. As noted previously, the efficiency curve is considerably flattened with three unequally-sized turbines as compared to three equally-sized turbines.

Purdy (undated) also points out that, principally for economic purposes, to allow the use of small high speed generators rather than large slow speed generators, speed increasers have often been used between the turbines and generators. He points out that the speed increaser can also be advantageously applied at sites where a large variation in head exists. It is quite possible under such circumstances that efficiencies may be so low at the extremes that the unit must be shut down. A suggested way of improving this situation is to provide for a change in turbine speed by installing more than one gear ratio in the speed increaser. In the synchronous generator arrangement, in which generator speed remains relatively constant, the variable gear ratio will then force a change in turbine speed, thus permitting the turbine to operate more efficiently. Purdy claims increases of average annual energy of as much as 15 percent by such arrangements. He also suggests that combination of variable gear ratios and unequal turbine sizes will result in an even higher operating range of peak efficiency.



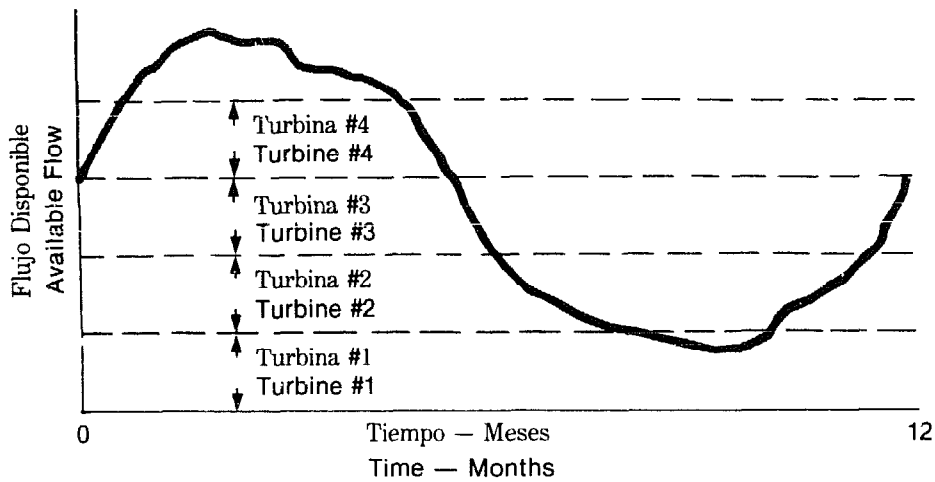


Figura 7. Promedios Fluviales Mensuales en el Sitio.

Figure 7. Monthly Average Flows at Site [Ref.: Fischer (1979)]

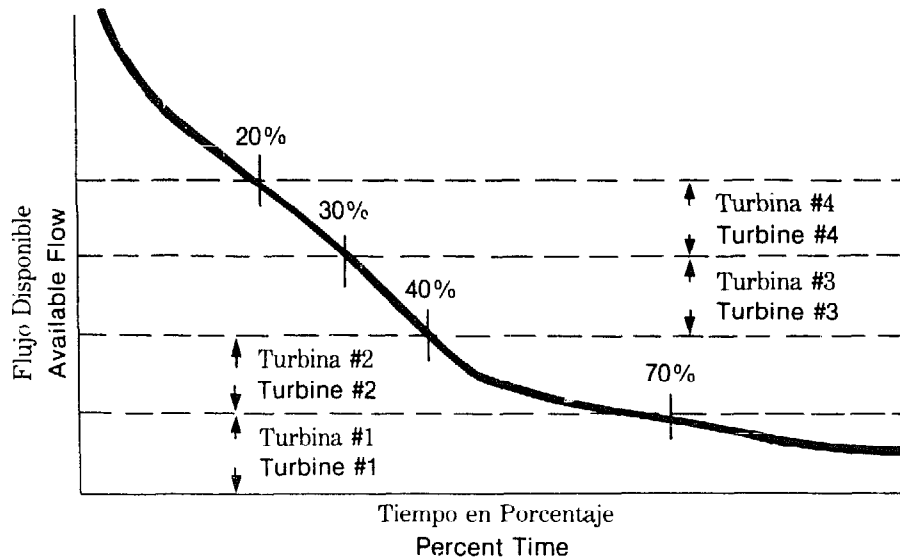


Figura 8. Presentación Típica de los Datos Sobre la Duración-Fluvial

Figure 8. Typical Presentation of Flow Duration Data. [Ref.: Fischer (1979)]

analizar un número de capacidades alternativos y se pueden hacer comparaciones de costos para uso eventual en optimizar el diseño del sistema.

Un proyecto típico probablemente considerará hélices de inclinación variables ("Turbinas Kaplan") con mucha cautela debido a su alto costo, a pesar de la eficiencia mantenida vastamente superior. El problema está en que la curva de eficiencia para un sistema de hélices fijas va a mostrar una punta que es donde ocurre el uso más eficiente del agua. Una planta hidroeléctrica con una sola turbina que no es ajustable tendrá entonces sólo un flujo con una eficien-

cia de punta. Cuando existe almacenamiento, es posible que sólo una unidad sea suficiente.

Cuando no hay almacenamiento el mejor uso de la corriente puede hacerse si se incorporan unidades de turbinas múltiples. Las unidades múltiples pueden ser del mismo tamaño o, para mejor eficiencia total, de diferentes tamaño. Como Purdy (1979) explica, "Una planta con dos turbinas de diferente tamaño tiene tres puntos de alta eficiencia, una planta con tres unidades de diferente tamaño tiene siete puntos de alta eficiencia. El tamaño ideal es aproximadamente 70-30 y 57-28-15, respectivamente." Como él apunta, la ventaja importante es la mejor operación durante los períodos de flujo bajo. También debido a que se usa una gran porción de la curva de duración fluvial se puede operar el sistema usando la corriente del río, con poca diferencia en el nivel del reservorio y consecuentemente con una caída de alto promedio.

Las Figuras 7 y 8 muestran un ejemplo simplificado (Fischer, 1979) con un sistema de cuatro turbinas del mismo tamaño cuya operación se superpone primero sobre un hidrógrafo anual típico, y segundo sobre una curva de duración fluvial. En períodos de agua abundante, se excede la capacidad total de las cuatro unidades, y presumiblemente el exceso de agua se descarga en los vertederos.

Por otra parte, durante los períodos de flujo bajo se usa una unidad y aún sólo parcialmente. Cuando se utilice la curva de duración fluvial Figura 8 se puede notar en (este ejemplo) que una unidad operará el 70 por ciento del tiempo a capacidad completa, dos unidades operarán el 40% del tiempo a capacidad total, tres unidades operarán el 30 por ciento del tiempo a capacidad total, y cuatro unidades operarán sólo el 20 por ciento del tiempo a capacidad total. En este ejemplo el 20 por ciento del tiempo las corrientes exceden la capacidad de la turbina y no están disponible para la producción de energía. Como se anotó previamente, la curva de la eficiencia se considera aplanada con tres turbinas de tamaño diferente en comparación con tres turbinas del mismo tamaño.

Purdy (sin fecha) también indica que esencialmente por razones de economía, se han usado con frecuencia los incrementadores de velocidad entre las turbinas y los generadores, para permitir el uso de generadores pequeños de alta velocidad en vez de grandes generadores de velocidad lenta. Él señala que los incrementadores de velocidad también pueden ser utilizados ventajosamente cuando se aplican en lugares donde existe una gran variación en la caída. Es muy posible que bajo dichas circunstancias las efi-

ciencias sean tan bajas que se deba apagar la unidad. Se sugiere que una manera de mejorar esta situación es la de proveer un cambio en la velocidad de la turbina mediante la instalación de más de un juego de engranajes en el incrementador de velocidad. En el arreglo del generador sincronizado, en el cual la velocidad del generador permanece relativamente constante, el juego de engranaje variable forzará un cambio en la velocidad de la turbina, permitiendo así que la turbina opere más eficientemente. Purdy sostiene que este arreglo incrementa el promedio de la energía anual hasta un 15%.

También sugiere que una combinación de juegos de engranajes variables con turbinas de diferente tamaño resultará en un rango aún más alto de eficiencia de punta.



## References

- Alward, R., et. al, 1979, "Micro-Hydro Power — Reviewing an old concept," DOE/ET/01752-1 UC-97e, prepared for the U.S. Department of Energy by the National Center for Appropriate Technology, Butte, Montana, 60 pp.
- Andrejanov, V.G., 1975, "Meteorological and Hydrological Data Required in Planning the Development of Water Resources (Planning and design level)," Operational Hydrology Report No. 5, WMO-No. 419, World Meteorological Organization, 42 pp.
- Benson, M.A., 1960, "Characteristics of Frequency Curves Based on a Theoretical 1000-year Record," in Dalrymple, T., Flood Frequency Analysis. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1543-A, pp. 51-74.
- Body, D.N., 1980, "Further Research Needs in Representative and Experimental Basins Development and Understanding," (separate paper), background paper Topic 3, Symposium on the Influence of Man on the Hydrological Regime with Special Reference to Representative and Experimental Basins, Helsinki, Finland, June 1980, 6 pp.
- Buchanan, T.J. and W.P. Somers, 1969, "Discharge Measurement at Gaging Stations," Chapter A8, Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Applications of Hydraulics, 65 pp.
- Clarke, R.T., 1973, "Mathematical Models in Hydrology," Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 19, Rome, 282 pp.
- Diskin, M.H., 1980, "General Report, Topic 2, Section 2.3 — Use of models derived on the basis of representative basins for water planning and management," (separate paper) Symposium on the Influence of Man on the Hydrological Regime with Special Reference to Representative and Experimental Basins, Helsinki, Finland, June 1980, 9 pp.
- Fisher, R.K., 1979, "Optimization and Selection of Hydro-Turbines Based on Considerations of Annual Energy," paper prepared for University of Wisconsin Low-Head Hydropower Development Seminar, April 30-May 3, 1979.
- Food and Agriculture Organization (undated), "Approaches to Water Development Planning in Developed and Developing Economies," W/K4859/c, 16 pp.
- Gladwell, J.S., 1980, "Small Hydro", Idaho Water Resources Research Institute, University of Idaho, Moscow, Idaho, 70 pp.
- Gladwell, J.S., 1980 (a), "Low-Head Hydro — A State-Of-The-Art Discussion," *Proceedings, American Nuclear Society Meeting*, Feb. 27-29, 1980, Los Angeles, California, pp. III-4-1 to III-4-26.
- Gladwell, J.S., 1980 (b), "Small Hydroelectric Energy Generation — Some Technical Considerations," paper prepared for presentation at the *Cost Rican Workshop on Energy and Development*, San Jose, Costa Rica, March 17-21, 1980. Workshop co-sponsored by the National Academy of Sciences (USA) and the National Research Council of Costa Rica.
- Gladwell, J.S., 1980 (c), "Small Hydroelectric Energy Generation — Some Economic and Planning Considerations," paper prepared for presentation at the *Costa Rican Workshop on Energy and Development*, San Jose, Costa Rica, March 17-21, 1980. Workshop co-sponsored by the National Academy of Sciences (USA) and the National Research Council of Costa Rica.
- Gladwell, J.S. and Warnick, C.C., 1978, *Low-Head Hydro*, Idaho Water Resources Research Institute, University of Idaho, Moscow, Idaho, 206 pp.
- Gladwell, J.S. and Warnick, C.C., 1979, "Small Hydro — A Viable 'Alternative' Now," paper presented at Waterpower '79, International Conference on Small Scale Hydro, Washington, D.C., Oct. 1-3, 1979.
- Gladwell, J.S. and Warnick C.C., 1979, "Small Hydro — A Second Change," *Water International* (March), pp. 9-21, 24.
- Gladwell, J.S., et. al., 1979, "A Resource Survey of Low-Head Hydroelectric Potential in the Pacific Northwest Region — Phase I and II," project completion reports to U.S. Department of Energy, Idaho Water Resources Research Institute, University of Idaho.
- Gladwell, J.S., 1979, "Runoff in Western Washington as a Function of Precipitation and Watershed Characteristics," Ph.D. dissertation, College of Engineering, University of Idaho, Moscow, Idaho.
- Hamm, H.W., 1967, "Low Cost Development of Small Water Power Sites," Volunteers in Technical Assistance (VITA), 3706 Rhode Island Avenue, Mt. Rainier, Maryland, USA 20822, c 1967, 43 pp.
- Kite, G.W., 1977, *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, USA, c 1977.
- Langbein, W.B. and K.T. Iseri, 1960, "General Introduction and Hydrologic Definitions," Manual of Hydrology: Part I. General Surface-Water Techniques, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1541-A, 29 pp.

Linsley, R.K., 1958, "Techniques for Surveying Surface-Water Resources," World Meteorological Organization, Tech. Note No. 26, WMO-No. 82. TP. 32, 41 pp.

Linsley, R.K., et. al., 1949, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, c 1949.

McMahon, T.A. and R.G. Mein, 1978, *Reservoir Capacity and Yield*, Developments in Water Sciences, 9, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, c 1978.

Magleby, H.L., 1980, "Hydro Power Assessment and DOE Loan Applications," paper prepared for Small Hydroelectric Workshop, sponsored by U.S. Department of Energy, Spokane, Washington, March, 1980.

Mayo, H.A., Jr., undated, "Low Head Hydroelectric Fundamentals," Allis-Chalmers, Hydro-Turbine Division, York, Pennsylvania.

Mayo, H.A., Jr., 1979 (a), "Turbine Selection," paper presented at short-course on Small Scale Hydro Power Feasibility, Planning and Design, University of Idaho.

Moore, B. and Gladwell, J.S., (1979), "Micro-Hydro, A Bibliography," Idaho Water Resources Research Institute, University of Idaho.

Purdy, C.C., 1979, "Energy Losses at Hydroelectric Power Plants," paper presented at Waterpower '79, International Conference on Small Scale Hydro, Washington, D.C., Oct. 1-3, 1979.

Purdy, C.C., undated, "Speed Change Results in Improved Turbine Performance," published by TAMS, Consulting Engineering Company.

Searcy, J.K. and C.H. Hardison, 1960, "Double-Mass Curves," Manual of Hydrology: Part I. General Surface-Water Techniques, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1541-B, 66 pp.

Searcy, J.K., 1959, "Flow-Duration Curves," Manual of Hydrology: Part 2. Low-Flow Techniques, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1542-A, 33 pp.

Unesco, 1978, *World Water Balance and Water Resources of the Earth*, Studies and Reports in Hydrology 25, produced by the USSR Committee for the International Hydrological Decade, Paris, France, c 1978.

Unesco, 1977, Atlas of the World Water Balance, Explanatory Text (35 pp) and 64 maps, produced by USSR National Committee for the International Hydrological Decade, Paris, France, c 1977.

Verwey, A. 1978, "Hydrological Models for the Amazon Basin." Report prepared for the UNDP/WMO Project BRA/72/010, 73 pp.

World Meteorological Organization, 1979, "Guide to Hydrometeorological Practices," WMO-No. 168. TP. 82, Second Edition.

# **Determinación de La Demanda de La Comunidad, Planeamiento de la Investigación y del Sistema**

R.E.A. Holland  
R.J. Armstrong-Evans  
K. Marshall

---

Este documento se refiere al planeamiento de micro-sistemas hidráulicos para comunidades rurales. Se describe la metodología utilizada para determinar la demanda de energía y se discuten estudios de casos. El trabajo está basado en la experiencia de ITDG con proyectos micro-hidráulicos en Nepal e India.

---

## **Introducción**

Durante los últimos cinco años el Grupo de Desarrollo Tecnológico Intermedio (ITDG) ha estado envuelto en una serie de micro proyectos hidráulicos. El trabajo comenzó con el desarrollo en la Gran Bretaña de diseños simplificados para turbinas de propulsión y ruedas de impulso Pelton con generadores monofásicos de bajo wattage. Se las controló con un control electrónico para la carga desarrollado por el consultante del grupo, Rupert Armstrong-Evans, de la Evans Engineering. Las primeras máquinas fueron esencialmente para casas de granjeros o viviendas privadas. Durante años recientes el equipo (turbinas/controles electrónicos) ha sido suministrado para proyectos en Pakistan, Lesotho, Nepal, Fiji Papua Nueva Guinea. Se ha suministrado asistencia técnica relativa a proyectos micro hidráulicos en India, Nepal, Papua Nueva Guinea y Kenya. El control básico se ha desarrollado hoy para aplicación trifásica de hasta 100 kilowatts. El control electrónico de la carga es un factor importante para reducir el costo total de los sistemas micro hidráulicos autónomos y puede convertirse en un factor importante en el planeamiento de la carga.

El objetivo del trabajo de ITDG en micro hidro-generación ha sido suministrar energía eléctrica o mecánica a comunidades donde existe la fuente para la energía hidráulica. Se ha estudiado este principio en gran detalle principalmente en el curso de dos proyectos, en particular, la electrificación rural en Nepal y en Uttar Pradesh del Norte, India.

# **Community Load Determination, Survey and System Planning**

R.E.A. Holland  
R.J. Armstrong-Evans  
K. Marshall

---

This paper is concerned with the planning of micro hydro systems of rural communities. The methodology used to determine energy demand is described and case studies are discussed. The work is based on ITDG's experience with micro hydro projects in Nepal and India.

---

## **Introduction**

The London-based Intermediate Technology Development Group (ITDG) has been engaged in a number of micro hydro projects over the last five years. The work started with the development in Britain of simplified designs of propeller turbines and Pelton wheels driving single phase generators of only a few kilowatts. These were controlled by an electronic load controller developed by the Group's consultant, Rupert Armstrong-Evans, of Evans Engineering. The first machines were mostly for farmers or private houses. Over the last few years equipment (turbines/electronic controllers) has been provided for projects in Pakistan, Lesotho, Nepal, Fiji, and Papua New Guinea. Technical assistance on micro hydro projects has been provided in India, Nepal, Papua New Guinea and Kenya. The basic controller has now been developed for three phase application up to about 100 kVA. The electronic load controller is an important factor in reducing the overall cost of autonomous micro hydro systems, and can be an important factor in load planning.

The object of ITDG's micro hydro work has been to provide mechanical or electrical power to rural communities where hydro power is available. This principle has been studied in great detail in the course of two projects in particular — rural electrification in Nepal and in Northern Uttar Pradesh, India.



## **Determinación de la Carga**

### **Naturaleza de la Demanda**

Los analistas del mercado diferencian entre la demanda existente, la demanda divergente y la demanda generada. La demanda de energía no es siempre evidente de inmediato porque los sistemas micro hidroeléctricos por lo general introducen la energía eléctrica por primera vez. La identificación de las necesidades de energía enfocará la dimensión de la demanda divergente y de la generada. También se las puede categorizar como energía substituída o energía promotora. La primera substituye la energía eléctrica por fuentes de energía existentes tales como la manual, diesel, animal, etc. La segunda promueve nuevos usos mediante la introducción de una fuente de energía versátil.

### **Introducción de la Energía Hidráulica**

Es obvio que para determinar la carga potencial se debe efectuar un detallado estudio económico-social, el cual debe cubrir una serie de villas y ciudades, y determinar el número y densidad de la población, los usos, fuentes y costo de la energía existente, y el nivel de ingreso de las comunidades (capacidad para pagar). Cuando la reacción original de la comunidades individuales a la introducción de fuentes micro-hidroeléctricas de energía es incierta, esta información básica es de mucho valor. Ayudaría al asesoramiento del impacto sobre las comunidades.

Normalmente hay dos pasos en un programa hidroeléctrico inicial. Se usan instalaciones piloto para asesorar patrones de carga y desarrollo, costo del capital instalado, y costo de funcionamiento además del herraje de prueba. Se puede diseñar el sistema óptimo para la integración del abastecimiento de la energía con las consideraciones de uso final. A medida que se identifican o confirman los usos más adecuados de la energía. La nueva demanda o demanda generada de energía puede tomar algunos años para materializarse.

### **Patrón de la Carga**

La experiencia en la India demostró que muchos de los sistemas hidroeléctricos autónomos instalados hasta hace como veinte años atrás teniendo en mente las consideraciones técnicas solamente han dejado de atraer usos finales adecuados. En consecuencia, los patrones de la carga fueron marcados por cargas muy elevadas (a menudo sobrecargas) durante las primeras horas de la noche debido a la iluminación doméstica, seguida por una base mínima hasta tarde en las mañanas cuando comenzaban los trabajos

## **Load Determination**

### **Nature of Demand**

Market analysts differentiate between existing demand, diverted demand and generated demand. The demand for power is not always immediately evident because micro hydro electric systems generally bring electrical power for the first time. Identification of energy needs will highlight the scope for diverted and generated demand. These can also be categorized as substituted power or promotive power. The first substitutes electrical power for existing power sources (such as manual, diesel, animal. etc.). The second promotes new usage by introducing a versatile power source.

### **Introducing Hydro Power**

Clearly, to determine load potential, a detailed socioeconomic survey of a region should be undertaken. This should cover a number of representative towns or villages and will determine population size and density, existing energy uses and sources and their costs, and the communities' income level (ability to pay).

In a situation where reaction of individual communities to introduction of microhydro energy sources is uncertain, this basic information would be invaluable. It would help to assess the likely impact on communities.

There are normally two stages of an initial hydroelectric programme. Pilot installations are used to assess load patterns and growth, installed capital costs, and running costs in addition to testing hardware. Integration of power supplies with end use considerations may be optimized as the most appropriate uses of power are confirmed or identified. The new or generated demand for power may well take some years to materialize.

### **Load Pattern**

It was found in India that many existing autonomous hydel (hydroelectric) systems installed up to twenty years ago, with technical considerations alone in mind, had failed to attract suitable end uses. Load patterns therefore were marked by high peak loads (often overloads) in early evening for domestic lighting followed by a negligible base load until late morning when intermittent workshop loads rose. A typical daily load pattern in India in the Hills area of Uttar Pradesh was:

intermitentes en los talleres. Un modelo típico de la carga diaria en la India, en las colinas de Uttar Pradesh indicaba:

Carga Elevadas 3 horas a 637 kW = 1911/Wh  
Carga Basica 5 horas a 275 kW = 1375 kWh  
Carga Industrial 16 horas a 65 kW = 1040 kWh

Total: 4326 kWh  
al dia

Lo cual ocasionó un factor de carga de 26% en una instalación de 700 kW. Con costos de capital por arriba de Rs. 25,000 por kW instalado (1979 Rs. 8 = \$1 approx.), gastos anuales de depreciación e interés a 12% y elevados costos de personal (cuatro turnos de 3 personas cada uno), esto resultó en costos de generación de Rs. 0.42/kWh, sin dejar margen para costos de líneas de transmisión y pérdidas, administración etc.

### Aumento de la Carga

En muchos casos la carga elevada (consistente en iluminación eléctrica) aumentó con bastante rapidez en las ciudades pequeñas. No obstante, hay muchos casos en que la energía llega a las aldeas mediante la extensión de la red sin hacerse las conexiones. Costos típicos de conexión para instalar medidores eran Rs. 200 (US\$ 25) que muy pocas familias podían pagar. El aumento de la carga para tales sistemas micro hidroeléctricos rurales fue consecuentemente limitado a un factor de carga típicamente máximo de 20-25%. Estos factores de carga no son suficientes para reducir los costos de generación a los bajos niveles de subsidio de las tarifas de costos — en consecuencia, dichos sistemas producen pérdidas y se los abandona cuando la red se extiende a áreas nuevas. Una razón esencial que produce bajas factores de carga es la división de la responsabilidad — con respecto al abastecimiento y el uso final. No se requiere comisiones de Electricidad para introducir el uso de energía, aunque los planes para el desarrollo a menudo asumen que el crecimiento económico y el desarrollo han de seguir automáticamente a la provisión de fuentes de energía.

### Beneficios de la Energía Eléctrica

La provisión de energía eléctrica, fuere en forma substitutiva o en promoción, ha de conferir tres beneficios esenciales a una comunidad: ahorro de fondos, generación de ingresos y conveniencia.

#### Ahorro de Fondos

Con ciertas facilidades ya pagadas en efectivo, la energía eléctrica a menudo puede efectuar ahorro de

Peak Load 3 hours at 637 kW = 1911kWh  
Base Load 5 hours at 275 kW = 1375 kWh  
Industrial Load 16 hours at 65 kW = 1040 kWh  
Total: 4326 kWh  
per day

This gave rise to a load factor of 26% on a 700 kW installation. With capital costs of over Rs. 25,000 per installed kW (1979 Rs 8 = \$1 approx.) annual charges for depreciation and interest at 12% and heavy staffing costs (four shifts of 3 men each) this gave generation costs of Rs 0.42/kWh, without allowing for transmission line costs and losses, administration and so forth.

### Load Growth

In many cases peak load (consisting of electric lighting) rose fairly rapidly in small towns. However, there are many instances of power being taken into villages by extension of the grid without any connections being made. Typical connection charges for meter wiring were Rs 200 (US\$25) which few families could afford. Load growth for such rural micro hydro systems therefore was limited to a typically maximum load factor of 20-25%. These load factors are not sufficient to reduce even generating costs down to the low subsidized level of tariff charges — hence such systems are loss makers and become quickly abandoned when the grid is extended into new areas. One major reason for poor load factors is the division of responsibility — with regard to supply and end use. Electricity Boards are not required to introduce uses for power, although development plans often assume that economic growth and development will automatically follow provision of energy sources.

### Benefits of Electrical Power

Provision of electrical power, either in a substitutive or promotive form will confer three main benefits on a community: cash savings, income generation, and convenience.

#### Cash Savings

With certain facilities already paid for in cash, electrical power can often effect a cash saving. This not only guarantees a return to the hydel installation and the end use provider, but also reduces consumers' outlays (giving rise to so called consumers' surplus).

An example is provided by the project in India described below where it is estimated that the

fondos. Esto no sólo garantiza ingresos para la instalación hidroeléctrica y el proveedor del uso final sino que al mismo tiempo reduce el costo al consumidor (dando como resultado lo que se denomina excedente del consumidor (consumers surplus).

El proyecto en la India que se describe más abajo proporciona un ejemplo donde se estima que la central con un factor potencial de carga de 35% puede generar energía a Rs. 0.7/kWh resultando en costo de molienda de harina a Rs. .04/kg, un ahorro a los aldeanos de Rs. .06/kg sobre el costo al presente.

### **Generación de Ingresos**

Los usos apropiados de energía en áreas rurales que han de producir ingresos incluyen irrigación con diferencia de nivel, aserradero, almacenamiento al frío y usos industriales en pequeña escala dependiendo de la disponibilidad de la materia prima, como por ejemplo, el proceso de la lana.

### **Conveniencia**

La tercera categoría de beneficios es mucho más difícil de cuantificar y presenta problemas para determinar el futuro incremento de la carga. Si se utilizan bombas para el agua potable se reduce el tiempo y esfuerzo de las mujeres que buscan y acarrean agua de los arroyos cercanos, lo cual en el norte de la India y en Nepal a menudo consiste en trayectorias de 10 kilómetros de ida y vuelta. Planes para introducir equipos de cocción que almacenan calefacción tienen poco valor ya que la leña es un producto gratuito para muchos consumidores y el costo para conseguir la leña es inexistente o marginal que no hay alternativas productivas.

### **Habilidad/Voluntad de Pagar**

Los beneficios arriba mencionados pueden ser mitigados por dos consideraciones importantes sobre la viabilidad económica y financiera de los planes hidroeléctricos. Los dos primeros demuestran la habilidad de pagar mediante la reducción de los gastos o el aumento de los ingresos. Los proyectos piloto pueden demostrar la voluntad de pagar por tales servicios. De cualquier modo, no hay certeza de que la voluntad se equipare a la habilidad para pagar. Las comunidades o individuos podrían tener aspiraciones en competencia, particularmente cuando los usos finales utilizan promoción de centrales hidroeléctricas enfocando en los beneficios de la convencia.

### **Electrificación o Energetización**

En muchos casos, la identificación de la carga depende de la fuente de energía disponible. Una consideración importante que se debe tener en cuenta es la necesidad de energía, que no ha de ser necesaria-

system with a load factor potential of 35% can generate power at Rs. 0.7/kWh giving rise to flour milling charges of Rs .04/kg, a saving to villages of Rs .06/kg on existing charges.

### **Income Generation**

Appropriate income-creating uses of power in rural areas include lift irrigation, saw milling, cold storage and small scale industrial uses depending on raw material availability such as wool-processing.

### **Convenience**

The third category of benefit is far more difficult to quantify and poses problems for determining future load growth. Pumping drinking water reduces time and effort spent by women fetching and carrying water from nearby streams which in northern India and Nepal can often entail round trips of 10 kilometers. Schemes to introduce heat storage cookers are of limited value given that firewood is a free good to many users, and where the opportunity cost of fetching firewood is also nil or marginal because of lack of productive alternatives.

### **Ability/Willingness to Pay**

The above benefits can be mitigated by two important considerations for the economic and financial viability of hydel schemes. The first two demonstrate ability to pay by reducing cash outlay or raising income. Pilot projects can demonstrate willingness to pay for such services. It is by no means certain that the ability to pay is matched by willingness. Communities or individuals may have competing aspirations, particularly where end uses promoted with hydel schemes confer convenience benefits.

### **Electrification or Energization**

In many instances, load identification begs the question of the most suitable power source. One important consideration to be born in mind is the need for energy, which may not necessarily be electrical. A phased programme of energy provision can build up load factors by providing power sources most suitable to existing but evolving conditions, by upgrading existing mechanical hydro power installations, and later replacing them with the more versatile hydroelectric power.

### **Case Study 1 — India**

Surveys of energy use in Indian villages (see Table 1) have shown the very low level of current

mente eléctrica. Un programa paulatino de evolución para la provisión de energía podría desarrollar los factores de carga mediante el suministro de energía adecuada para las condiciones existentes, en evolución, por mejoramiento de las instalaciones de energía hidráulica mecánicas en existencia, y ulteriormente reemplazándolas por la más versátil energía hidroeléctrica.

### **Estudio de Caso #1 — India**

Las investigaciones sobre el uso de energía en las villas de la India (ver cuadro 1) han indicado el muy bajo nivel de uso de energía al presente. Las cifras para las villas bolivianas fueron 3.5 veces más que este nivel y las cifras para el Norte de México 5 veces más. Se puede esperar que la energía hidroeléctrica suministre una fuente alternativa de energía para la agricultura (elevación de agua y proceso de la cosecha) para iluminación y para fábricas. También se puede esperar que se convierta en un medio de introducir nuevas actividades industriales.

ITDG está proporcionando asistencia a la Appropriate Technology Development Association de Lucknow para introducir sistemas micro hidro piloto en las colinas de Uttar Pradesh basados en turbinas de fabricación local y técnicas de construcción de bajo costo para instalaciones civiles. El proyecto fue precedido por un examen de los arreglos existentes en el área en términos de micro hidroelectricidad y también investigaciones económicas de los lugares propuestos.

### **Sistema de Micro Hidroeléctricos Existentes**

La comisión de Electricidad del Estado de Uttar Pradesh mantuvo un programa de instalación micro hidroeléctrica entre los años de 1965-75. Comenzó con equipos muy pequeños (5 kW) y el sistema gradualmente aumentó en tamaño a unidades de 200-300 kW en 1975. Aunque la tecnología que se basa en diseños comerciales de turbinas de flujo cruzado, turbinas Francis, ruedas Pelton y Turgo ha dado buenos resultados, el programa fue suspendido en favor de sistemas interconectados a redes mayores de abastecimiento. La falla de estos sistemas descentralizados se debe a los extremadamente bajos ingresos de las familias en esas áreas y la ausencia de industrias que finalmente utilizaran la energía. Muchas familias no tenían medios para pagar el costo de la conexión a dicha línea de Rs. 200 (US\$25.00). Aún cuando el abastecimiento de esta electricidad tenía un subsidio de 50% de las tarifas de Rs. 0.52/kWh (US\$0.05) muchos no podían pagar por la iluminación a electricidad. En los sistemas antiguos la carga de iluminación había

energy usage. The figures for Bolivian villages were 3.5 times this level and for N. Mexico 5 times. Hydroelectric power can be expected to provide an alternative source of energy for agriculture (water lifting and crop processing), for lighting and for manufacturing. It can also be expected to be a means of introducing new industrial activities.

ITDG is assisting the Appropriate Technology Development Association of Lucknow to introduce pilot micro hydro schemes in the hill areas of Uttar Pradesh based on locally made turbines and low cost building techniques for civil works. The project was preceded by an examination of existing micro hydel schemes in the area and economic surveys of the proposed sites.

### **Existing Micro Hydro Electric Schemes**

The State Electricity Board of Uttar Pradesh carried out a micro hydroelectric installation programme between 1965-75. Starting with very small (5 kW) sets the schemes gradually increased in size to 200-300 kW units by 1975. Although the technology, which is based on standard commercial designs of cross-flow turbines, Francis turbines, Pelton and Turgo wheels, has proved to be sound, the programme was discontinued in favour of larger grid-connected schemes.

The lack of success with these decentralized systems stems from the very low incomes of the families in those areas, and the lack of any industrial end use for the power. Many families could not afford the connection charge for this power of Rs. 200 (US\$25). Even though this electricity supply was subsidized at 50% of grid rates of Rs. 0.52/kWh (5 cents U.S.) many could not afford power for lighting. In the older schemes the peak lighting load had built up to exceed the rated output of the generator but fell away to nothing late at night and to around a maximum of 10% in daylight hours.

### **Load Determination**

In an effort to avoid a repetition of the State Electricity Board's experience, ITDG and ATDA carried out a preliminary village energy demand survey in villages to be supplied from the proposed new micro hydro schemes. More detailed information on household income and energy use is currently being collected by enumerators, conducting house-to-house enquiries. They will evaluate:

Tabla I: Uso Diario de Energía per Cápita en una Villa típica de la India (Poblacion: 500)  
 Table 1. Daily Per Capita energy use in a typical Indian village (population: 500)

Fuentes de Energía Energy Sources	Actividades que consumen energía (en kilocalorias/capita/día) Energy consuming activities (in kilocalories/capita/day).					
	Agricultura Agriculture	Usos Domésticos (Esencialmente la Cocina) Domestic uses (mainly cooking)	Iluminación Lighting	Transporte Transport	Manufactura (Alfarería, Ladrillos, Metalúrgica) Manufacturing (pottery, brickmaking metalwork)	Total
Energía Humana Human labour	370	250	—	50	10	670
Energía Animal Animal power	840	—	—	160	—	1000
Leña, bosta de vaca, desperdicios agrícolas Firewood, dung, agricultural wastes	—	4220	—	—	470	4690
Energía no-comercial Non-commercial Energy	1210	4470	—	210	480	6360
Combustible Oil	50	—	260	—	—	310
Carbón Coal	—	90	—	—	—	90
Electricidad Electricity	90	—	40	—	—	130
Energía Comercial Commercial Energy	140	90	300	—	—	530
Consumo Total de Energía Total Energy Consumption	350	4560	300	210	480	6890
Porcentaje del Consumo Total de Energía Percentage of Total Energy Consumption	20	66	4	3	7	100

Basado en el estudio de Roger Revelle, "Uso de Energía en India Rural," *Ciencia*, vol 192, p 969, 4 junio 1976, USA.  
 Based on Roger Revelle's paper, "Energy Use in Rural India," *Science*, vol 192, p 969, 4 June 1976, USA.

aumentado hasta exceder la capacidad del generador pero caía a nivel de cero tarde en la noche y se mantenía a un máximo de 10% en las horas del día.

### Determinación de la Carga

En un esfuerzo para evitar la repetición de la experiencia de la de Electricidad de Estado, ITDG y ATDA realizaron una investigación preliminar de las necesidades de energía en las villas donde se proponía instalar los nuevos sistemas micro hidráulicos. Actualmente se está colectando información más detallada sobre el ingreso de las viviendas y el uso de energía, mediante enumeradores que van de casa un casa. Con ello se ha de evaluar:

- Poblacion: Número de viviendas  
Población  
Numero de profesionales (herradores, tejedores, sastres, carpinteros)  
Distribución de castas
- Propietarios de terreno y animales: Implicaciones sociales y cantidades.
- Cosechas: Promedio de area plantada por tipo — elevaciones y tierras  
Promedio de rendimiento de la cosecha por tipo bajas  
Precio de las cosechas  
Potencial de rendimiento irrigado y fertilizado (necesidades de agua y fertilizantes)  
Distancia de los campos a las chozas
- Combustibles: Combustibles existentes por: tipo  
costo unitario/esfuerzo para colectarlo  
uso final  
cantidad consumida  
disponibilidad
- Proceso Existente: Facilidad — tipo, costo del capital, propiedad, disponibilidad (distancia, capacidad)  
Costo del proceso  
Castas, implicaciones de sexos
- Otras Actividades: Reales  
En potencia  
Tipo  
Productividad, ingreso  
Disponibilidad material

- Population: Number of households  
Population  
Number of Tradesmen (Blacksmiths, weavers, tailors, carpenters)  
Caste distribution.
- Landholding and Stock: Social implications and quantities.
- Crops: Average area farmed per type — upland, lowland  
Average crop yield per type  
Price of crops  
Potential irrigated, fertilized yield per type (water and fertilizer needs)  
Distance of fields from cottage.
- Fuels: Existing fuels by: type  
unit cost/effort to collect  
end use  
quantity consumed  
availability.
- Existing Processing: Facility — type, capital costs, ownership  
availability (distance, capacity)  
Cost of processing  
Caste, sex implications.
- Other Activities: Real  
Potential  
Type  
Productivity, income  
Material availability  
Market  
Caste implications
- Village Incomes: Average per household  
Source
- Attitudes to Electrification
- Ownership Possibilities
- Village Map: showing blocks of cottages, fields, caste and craft divisions.
- Potable Water: Source, distance, quantity, per head, carriers.

The load potential within 2 km of a typical site was evaluated to find the existing potential electrical consumption. In this particular area there were 1,200 people in 200 households.

## Mercado

### Implicaciones de casta

- Ingreso en las Villas: Promedio por vivienda
- Fuente
- Actitud Hacia la Electrificación
  - Posibilidades de Propiedad
  - Mapa de la Villa: indicando bloques de chozas, campos de cultivo, y división de casta y distribución por oficio.
  - Agua Potable: fuente, distancia, cantidad por cabeza, medios de transporte.

Se evaluó el potencial de la carga dentro de un radio de 1 km de un sitio típico para determinar el consumo eléctrico potencial existente. En este área en particular hay 1,200 personas en 200 viviendas.

## Demanda Existente

1. **Molienda de harina** a 1/2 kg/persona/día (max) = 600 kg. Un molino (disponible de inmediato) proporcionaría 100 kg/hora requiriendo 6 horas a 3.75 kW.
2. **Extracción de aceite:** el consumo de 1/2 litro/cabeza/mes es equivalente a 20 litros por día (16 kg). Con un rendimiento de 30% un extractor de 3 hp trabajando a una capacidad de 15/kg/hora necesitaría operar 4 horas al día.
3. **Descascaramiento de arroz:** Se asume que el consumo es de 1/4 kg/día/cabeza = 300 kg/día = 460 kg arroz (a la conversión típica de 65%). Una máquina de 5 hp que procesará 200 kg de arroz por hora, requiere operación por 2 1/2 horas a 3.75 kW.
4. **Iluminación Eléctrica:** Potencial 200 viviendas x 2 focos @ 40 W x 3 horas diarias = 48 kWh (max).

## Demanda Promocional

1. **Suministro doméstico de agua:** Para esta villa se calculó 30 litros por día (36,000 litros elevados a 400 pies a una eficiencia de 75%) en cuatro horas mediante una bomba a motor de 6 hp = 4.5 kW x 4 horas.
2. **Aserradero:** Para fabricar cajas de empaque para frutas, el plan es un aserradero de 5 hp trabajando seis horas al día = 6 x 3.75 kW.
3. **Irrigación por elevación:** Se requiere una bomba para proporcionar 5 cm de agua sobre 40 hectáreas por mes durante seis meses a una caída de 60 metros. Este requisito demanda una

## Existing Demand

1. **Flour grinding** at 1/2 kg/person/day (max) = 600 kg. A 5 hp mill (readily available) would give 100 kg/hour requiring 6 hours at 3.75 kW.
2. **Oil expelling:** A consumption of 1/2 liter/head month is equivalent to 20 liters/day total (16 kg). At 30% yield a 3 hp expeller processing at 15 hg/hr will be required 4 hours/day.
3. **Rice hulling:** Consumption assumed to be 1/4 kg/day/head = 300 kg/day = 460 kg paddy (at typical conversion rate of 65%.) A 5 hp machine will process 200 kg paddy/hour, requirement is 2 3/4 hours at 3.75 kW.
4. **Electric lighting:** Potential 200 households x 2 bulbs at 40 W x 3 hours/day = 48 kWh (max).

## Promotion Demand

1. **Domestic water supply:** For this village 30 liters/day was assumed (36,000 liters lifted 400 foot at 75% efficiency) in four hours from a 6 hp pump motor = 4.5 kW x 4 hours.
2. **Saw milling:** For manufacturing fruit packing cases a 5 hp sawmill is planned for 6 hour/day = 6 x 3.75 kW.
3. **Lift irrigation:** Pumping is required to give 5 cm of water over 40 hectares per month for 6 months at 60 meters head. This will require a 20 hp pump = 15 kW for 12 hours per day operation, 6 months of the year. Irrigation pumping could alternatively be done by direct mechanical drive using water fed from the headrace, with the generator being driven simultaneously.

No attempt has been made to substitute electricity for cooking in this project, because currently there is no very cheap electric heat storage cooker available and, if there were, the price of electricity would have to be considerably lower or the cost of firewood and cow dung considerably higher before it would become an acceptable alternative. This is very significant because (as seen in Table 1) it is estimated that cooking accounts for 66% of Indian villagers' energy consumption compared with 20% for agriculture and 7% for manufacturing (e.g. brickmaking and pottery). The high consumption for cooking is partly due to the very low efficiency of traditional stoves.

bomba de 20 hp = 15 kW operando 12 horas por día, seis meses al año. El bombeo para irrigación puede efectuarse alternativamente por conducción mecánica directa utilizando agua del canal de alimentación, utilizando el generador simultáneamente.)

En este proyecto no se ha intentado substituir la electricidad utilizada par cocinar porque al presente no hay disponibles cocinas eléctricas baratas a alma enamiento del calor y si tal hubiere, el precio de la electricidad debería ser considerablemente más barato o el costo de la leña y la bosta de vaca considerablemente más elevado antes de que se pueda tornar en una alternativa aceptable. Esto es muy significativo y a que — como se ve en la tabla 1 — se calcula que la cocina representa un 66% del consumo de energía de los aldeanos en la India, comparado con 20% para la agricultura y 7% para las fábricas (ejemplo, fábrica de ladrillos y alfarería). El elevado consumo para la cocina se debe parcialmente a la eficiencia extremadamente baja de las estufas tradicionales.

Para esta villa se planeó inicialmente un equipo de 16 kW. Se hicieron los siguientes cálculos:

Carga	kW	horas al día	kWh/día
Iluminación	16	3	48
Molienda de Harina	3.75	6	22.5
Extracción de Aceite	2.25	4	9
Descascaramiento de Arroz	3.75	2.5	9.4
Agua Doméstica	4.5	4	18
Aserradero	3.75	6	22.5

Total 129.4 kWh/día

Total Generado 384 kWh

Factor de Carga 34%

La carga de irrigación nocturna de 15 kW x 12 horas podría aumentar este factor de carga a 80%. Este factor elevado de carga reduciría el costo de este método de irrigación a un nivel menor que el pagado por los granjeros en la red de abastecimiento por la misma cantidad de agua a menor caída (Rs. 3.5/hr por 45 a 55,000 litros por hora).

## Estudio de Caso #2 — Nepal

### Antecedentes

ITDG suministra asistencia técnica y soporte financiero para un programa rural de micro hidro-

For this village an initial set was planned to give 15 kW. This was calculated as follows:

Load	kW	hrs/day	kWh/day
Lighting	16	3	48
Flour Grinding	3.75	6	22.5
Oil Expelling	2.25	4	9
Rice Hulling	3.75	2.5	9.4
Domestic Water	4.5	4	18
Saw Milling	3.75	6	22.5

Total 129.4 kWh/day

Total Generated 384 kWh

Load Factor 34%

The night time irrigation load of 15 kW x 12 hours could raise this load factor to 80%. This high load factor would reduce the cost of this method of irrigation to below the level paid by farmers on the mains grid for the same quantity of water at a lower head (Rs 3.5/hr for 45 — 55000 litres/hour)

## Case Study 2 — Nepal

### Background

ITDG is providing technical assistance and financial support for a rural micro hydro electrification programme in Nepal being implemented by the United Mission to Nepal (UMN). UMN have been active in the field of technical assistance for about 20 years. Nepal, of course, is a country abounding with small rivers suitable for small scale hydro power production. It is also extremely mountainous and rugged with small dispersed rural communities far from any roads or electrical grid.

Water power has been in use there for hundreds of years in the form of traditional vertical axis water wheels, which are used for rice and corn grinding. More recently, diesel powered mills have been introduced to drive grain mills, rice hullers and oil extractors with the obvious problems of cost and availability of fuel. It was the owners of these machines who first approached the UMN workshop and asked for hydro-powered mill. The engineering works first produced a Pelton wheel but in that part of the world Pelton wheels had not proved to be successful. Although the price is very reasonable, there are too many problems with water rights



electrificación en Nepal, implementado por la Misión Unida a Nepal (UMN). UMN se ha mantenido activa en el campo de la asistencia técnica por alrededor de 20 años. Nepal, por supuesto, es un país donde abundan pequeños ríos cuyo caudal es adecuado para la producción de energía hidráulica en pequeña escala. También es extremadamente montañoso y escabroso con pequeñas comunidades rurales dispersas, distantes, sin caminos ni redes de conexión eléctrica.

La energía acuática ha estado en uso en estos lugares por cientos de años en la forma tradicional de ruedas de agua con eje vertical que se usan para la molienda de arroz y maíz. En años más recientes, se ha introducido el uso de molinos a energía diesel para moler el grano, descascarar el arroz y extraer el aceite resultando en los problemas obvios del costo y la disponibilidad del combustible. Fueron los propietarios de estas máquinas los primeros en dirigirse a la UMN pidiendo un molino hidráulico. Se produjo en primer lugar una rueda a impulso Pelton pero en esta parte del mundo las ruedas de impulso no han tenido éxito. Aunque el precio es muy razonable, hay innumerables problemas con los derechos al uso del agua con estas máquinas de alta caída, ya que el agua se toma normalmente de un río que se usa para irrigación. Es una lástima que esto sea así porque la rueda Pelton requeriría menor cantidad de agua para producir igual cantidad de energía.

La Misión Unida descubrió que una solución intermedia se conseguiría mediante la fabricación de máquinas de flujo transversal (Turbinas Mitchell Banki) de 20 a 50 hp. Se las podría fabricar en un rango de tamaños normales (2 diámetros de rotor y un número de diferentes anchos para ajustarse a la variedad de las caídas, cantidad del flujo y la energía de salida. Con máquinas de este rango se pueden utilizar una cantidad de componentes comunes. La velocidad del eje es normalmente de 500 rpm y conduce una línea de transmisión y luego las diversas máquinas con la banda de una polea. Se usa un rotor de menor diámetro para producir 1500 rpm para operar los generadores. El rotor y el encaillando se fabrican de acero y no se usan moldes. Se han producido más de 50 de estas turbinas para máquinas para proceso agrícola pero hasta ahora un sólo sistema hidroeléctrico ha sido instalado (35 kW). Recientemente, un pequeño alternador de camiones de 500 W ha estado disponible como equipo extra para el equipo básico del molino. El costo de la maquinaria completa para el molino y los trabajos civiles relacionados alcanza a Rs. 60,000 en Nepal (US\$5,000). Además de la descascaradora de

with these high head machines because the water is normally abstracted from a river whose water is being used for irrigation. This is of course a pity, because the Pelton wheel would require a smaller quantity of water for the same power output.

The United Mission found instead that a compromise solution would be to manufacture cross-flow machines (Mitchel Banki turbines) of between 10 and 50 hp. These could be made in a range of standard sizes (2 runner diameters and a number of different widths) to cope with the variety of heads, flow rates and power outputs. A number of common components could be used with this range of machine. The shaft speed is normally 500 rpm driving a line shaft and then the various machines by belt drive. A smaller rotor diameter is used to give 1500 rpm for driving generators. The runner and casing are fabricated from steel and no castings are used. More than 50 of these turbines have been produced for agricultural processing machinery but only a hydroelectric system has yet been installed (35 kW). Recently, a small 500 W truck alternator has been available as an extra to the basic mill equipment. The cost of the complete mill machinery and civil works is about 60,000 Nepal Rs. (US\$5,000). In addition to the rice huller, grinder and oil expeller, UMN are developing a mechanical air heater. This device heats air by fluid friction which can then be used for crop drying or even baking.

The hydro-powered mill programme is now being expanded to take in electrification. The same turbine type — for which there is now a well-trained manufacturing, installation and maintenance team — is now being used for community hydroelectric systems.

The object of this background is to show that this step-by-step development has worked well and that it is self-perpetuating. The diesel owners are perfectly capable of managing the maintenance of the turbines and they are in any case familiar with the concept of water power from the traditional Himalayan water wheel. There is a steady and even increasing demand for these turbines.

### **Electrification**

As in India, ITDG carried out an economic survey of existing micro hydro projects in Nepal prior to this project. The report from this survey compared the cost of a 40 kW diesel generator

arroz, el molino y el extractor de aceite, UMN está desarrollando una calefacción de aire, mecánica. Este artefacto calienta el aire mediante fricción de fluido que se puede utilizar para secar la cosecha y hasta para hornear.

El programa de molinos a energía hidráulica está en proceso de expansión para cubrir la electrificación. El mismo tipo de turbina — para el cual existe un equipo bien entrenado en la fábrica, instalación y mantenimiento — se usa hoy día para los sistemas hidroeléctricos de la comunidad.

El objetivo de la presentación de antecedentes es el de demostrar que el desarrollo paso a paso ha trabajado bien y se perpetúa. Los propietarios de las máquinas diesel son perfectamente capaces de administrar y mantener las turbinas y, en cualquier caso, tienen familiaridad con el concepto de energía hidráulica de la tradicional rueda hidráulica del Himalaya. Hay una constante y aun creciente demanda por estas turbinas.

## Electrificación

Del mismo modo que se hizo en la India, ITDG llevó a cabo un estudio económico de los proyectos micro hidráulicos en Nepal, antes de realizar este proyecto. El informe de esta investigación hizo estudio comparativo del costo de un sistema diesel de 40 kW con una plant hidráulica equivalente. Se llegó a la conclusión de que las plantas hidroeléctricas del rango entre 10 y 100 kW tienen un costo efectivo mejor que las plantas diesel, pero en cualquier caso, un costo razonable al consumidor depende de la posibilidad de conseguir factores de carga de aproximadamente 30 por ciento. Ver la figura 1.

La primera unidad hidroeléctrica fué instalada en 1979 en la ciudad de la colina de Baglung. Después de seis meses de operación, el factor de energía era todavía muy bajo consistiendo principalmente de la iluminación eléctrica. Parcialmente esto se debe a disputas sobre propiedad de las tierras y compensación por la ruta de la línea de distribución. Se debe tomar nota de que esta primera instalación fue auspiciada por el gobierno y que hubo muy pequeña participación de la comunidad. Tres villas adicionales van a seguir con instalaciones de propiedad de la comunidad durante los próximos dos años. Los usos principales de la energía serán: iluminación doméstica, bombas de irrigación, molienda de maíz y arroz, y descascaramiento de arroz.

El proyecto también ha de investigar métodos alternativos de regulación de la turbina, (regulación mecánica y diferentes tipos electrónicos de control de

system with an equivalent size hydro plant. It concluded that hydroelectric schemes in the 10 to 100 kW range are more cost effective than diesel, but in either case, a reasonable cost to the consumer per kWh depends on achieving load factors of about 30 per cent. See Figure 1.

The first hydroelectric unit was installed in 1979 at the hill town of Baglung. After six months operation the power factor was still very low, consisting chiefly of electrical lighting. This was partly the result of disputes over land ownership and compensation for the distribution line route. It should be noted that this first scheme was a government sponsored one and there was little community participation. Three more villages will follow with community-owned schemes over the next two years. The chief uses of the power are to be: domestic lighting, irrigation pumping, corn and rice grinding, and rice hulling.

The project will also investigate alternative methods of turbine governing, (mechanical governing and different types of electronic load control). Appropriate tariff structures, possible use of heat storage cookers, low cost means of electricity distribution (e.g. single wire earth return) and suitable ownership and management structures.

## System Planning

In general, for these early community systems the unit power capacities will be between 10 and 50 kW. Normal low tension distribution voltages are used because high tension transformers would add an unacceptable percentage of cost. Two 30 kVa, 11 kv transformers would cost approximately the same as a 30 kVa generator. This implies that power distribution will be limited to within approximately 2 km of the power house. For the same reason no water storage is planned. However, because of the unknown load growth pattern, the canal feeding the penstock will have sufficient capacity for the turbine water flow to the power to be doubled at a future date by adding a second turbine and penstock.

Where electronic load control is used, the ballast load can be sited at any convenient location in the village where a supply of hot water is required. The ballast load heaters can also be used for agricultural processing where a heat source is necessary — e.g. oil distillation and crop drying.

To raise the average load factor, it is essential to start with a daytime, industrial use for the

la carga), estructura adecuada del sistema de tarifas, posibilidad del uso de estufas que almacenan el calor, medios de distribución de la electricidad a bajo costo (por ejemplo, alambre único de retorno a tierra) y estructuras adecuadas de propiedad y administración.

power which will either provide a service already performed by other means or will introduce a new industrial activity to the area.

Technology innovator and transfer groups such as ITDG or similar organizations have as their

**Costo Anual Total y Costo Unitario Comparado con la Energía Generada y Utilización de la Capacidad para Instalaciones Diesel e Hidroelectricas de 40 kW**  
**Annual Total Cost & Unit Cost Against Power Generated & Capacity Utilisation for 40 kW Diesel & Hydro-electric Installations**

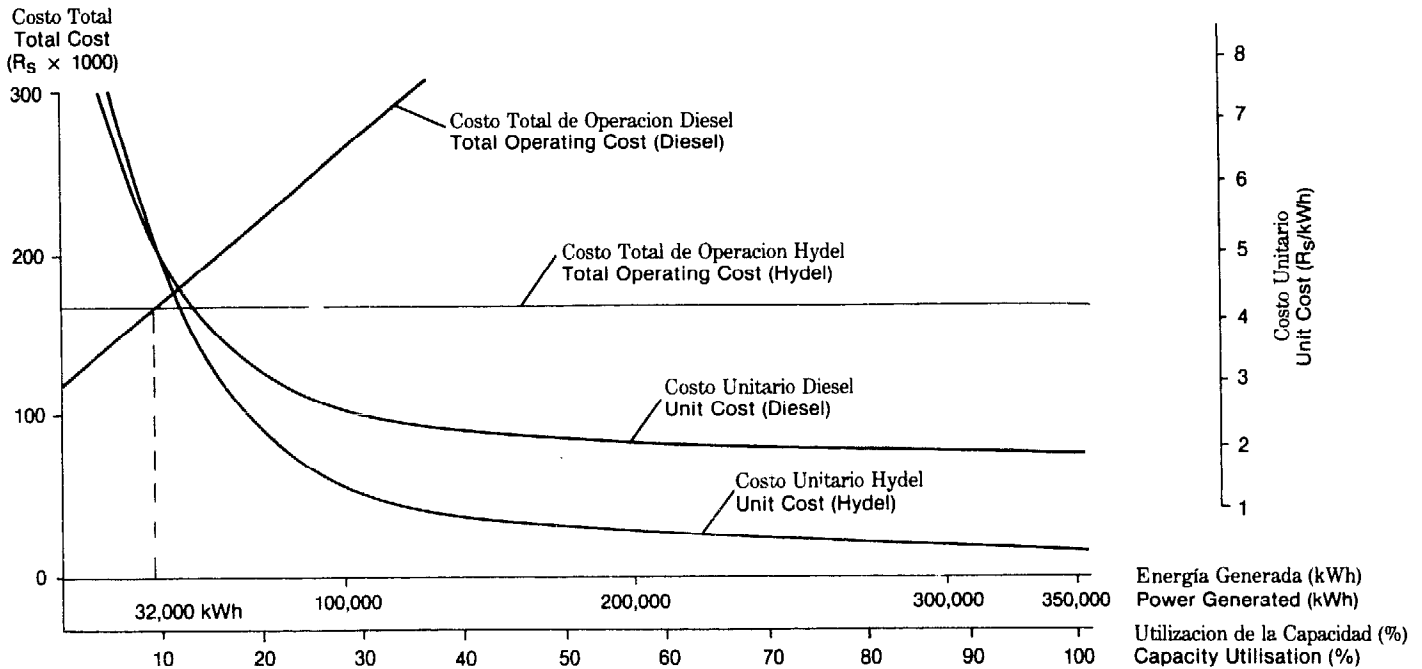


Figura 1.  
Figure 1.

## Planeamiento del Sistema

Por lo general, para estos primeros sistemas comunitarios la capacidad de la unidad de energía será entre 10 y 50 kW. Se utilizan voltajes de distribución normales de baja tensión porque los transformadores de alta tensión aumentarían el costo a un porcentaje no aceptable. Dos transformadores de 30 kVA, 11 kv costarían aproximadamente lo mismo que un generador de 30 kVA.

Esto implica que la distribución de la energía estaría limitada aproximadamente a un perímetro de 2 km de la casa de máquinas. Por la misma razón no se planea almacenaje de agua. No obstante, por causa de que no se conoce el patrón de desarrollo de la carga, el canal de alimentación la tubería de presión deberá tener capacidad suficiente para que el flujo del agua de la turbina a la casa de máquinas

first function to make contact with the local planners or initiators. In order to transfer technology it is necessary to have a customer, a manufacturer and a supplier. At stage one, several of these jobs may be combined. For example, ITDG may also be the supplier and the local planners may also be the first customer. There will in any case be linkages between all parties. At stage two, which can be referred to as training and extension, the linkages change so that those between the customer, manufacturer and suppliers get stronger and those between ITDG and the local planner change emphasis towards training and end use development. The final stage is one of steady state, i.e. where the system is no longer changing. In this case, the links with ITDG are finished; the links between customer, installer, manufacturer and suppliers are well

pueda aumentar al doble en el futuro cuando se agregue una segunda turbina y cañerías de presión.

En los lugares donde se utilice el control electrónico de la carga, la resistencia de compensación puede ubicarse en cualquier lugar conveniente en la villa donde se requiera agua caliente. Los calentadores de la resistencia de compensación se pueden utilizar también para el proceso agrícola donde se necesite una fuente de calefacción — ejemplo, destilación de aceite y secado de la cosecha.

Para aumentar el promedio del factor de carga es esencial que se comience con — el uso industrial, durante el día, de la energía que ha de suministrar un servicio provisto desde ya por otros medios o que introducirá una nueva actividad industrial en el área.

Los grupos innovadores de la tecnología y especializados en transferencia, tales como ITDG u organizaciones similares tienen como función principal establecer contacto con los planificadores locales o con los iniciadores. Para poder transferir la tecnología es necesario tener un consumidor, un abastecedor y un fabricante. En la primera fase, varias tareas se pueden combinar. Por ejemplo, ITDG puede ser al mismo tiempo el abastecedor y los planificadores locales pueden ser también los primeros consumidores. De cualquier modo habrán eslabones de conexión entre todas las partes. En la segunda fase, a la cual podríamos referirnos como de entrenamiento y extensión, las conexiones cambian de tal modo que se estabilizan las relaciones entre consumidor, fabricante y abastecedor y la conexión entre ITDG y los planificadores locales cambian el énfasis hacia el entrenamiento y desarrollo del uso final. La fase final es de naturaleza más permanente, como cuando el sistema ya no cambia. En tales casos la relación con ITDG termina, la relación entre el consumidor, el instalador, el fabricante, y los abastecedores está bien establecida y las conexiones con los planificadores se convierten en relaciones de regeneración, entrenamiento y posiblemente financiamiento a largo plazo.

### **Organizaciones Inicadoras**

Después de desarrollar o seleccionar la tecnología, se la debe presentar de tal modo que se puedan utilizar con facilidad. Boletines del Proyecto, Manuales, Seminarios, Visitas de Entrenamiento y Consulta son todos parte del paquete de presentación inicial. Los primeros pasos consisten en la formulación de cuestionarios con preguntas cuidadosamente seleccionadas y material introductor. A menudo es necesario que este grupo suministre algunos o todos

established and the links with the planners are ones of feedback, training and possibly long term finance.

### **Initiating Organization**

Having developed or selected the technology, it must be presented in a form that can be easily used. Project bulletins, manuals, seminars, training visits and consultancy are all part of the initial package. Carefully drafted questionnaires and introductory material are the first steps. It is often necessary for this group to supply some or all of the plant and machinery in the early stages; this can gradually be phased out as the local capability in fabrication, casting and electrical work takes over.

### **Local Planners**

The first questions that must be answered are, what kind of development is required, who is it aimed at and who is to carry it out? Much of this depends upon the scale of the individual installations. There are very few government run installations around the world of less than 100 kW and even this is considered very small by most criteria. It is difficult for a government body to provide the backup economically for such plants. Responsibility for construction and maintenance is taken away from the village and the consumers may expect to be paid for any work carried out on the project. Such schemes will often be carried out by a specialist micro-hydro construction company who have all the 'in house' skills to do the survey, construction and backup. For larger plants or groups of plants, the service of a firm of consulting engineers might be justified. Schemes within the range of 25 kW to 100 kW can often be carried out by grafting the necessary skills and technology into an existing firm of agricultural or irrigation engineers, which would already have the skills to perform the bulk of the work. Such schemes may or may not involve high voltage transmission. Installations in the 5 kW or the 25 kW range may be carried out by the local entrepreneur, village or cooperative and this is the range that was used widely in parts of the UK in the nineteen thirties and, more recently, in the Peoples Republic of China. In order to justify the cost of an engineer to run such a scheme, it is often necessary to encourage the parallel development of a small engineering shop on the site of the hydro station, so that only a small pro-

los equipos de la planta y la maquinaria en las etapas iniciales; esto se puede concluir gradualmente a medida que la capacidad local de fabricación, fundición y trabajo eléctrico sean competentes.

### **Planificadores Locales**

Las primeras cuestiones que se deben formular se relacionan con qué clase de desarrollo se requiere, a quién está dirigido y quién lo ha de implementar? Aquí mucho depende de la escala de las instalaciones individuales. Hay muy pocas instalaciones en todo el mundo en que la potencia es de 100 kW o menos y aún esto, conforme al criterio de la mayoría, es considerado demasiado pequeño. Es difícil que el gobierno suministre el soporte económico para dichas plantas. La responsabilidad de la construcción y mantenimiento se lleva fuera de la villa y los consumidores pueden esperar que se les pague por trabajo realizado en el proyecto. Tales arreglos con frecuencia se llevan a cabo por medio de compañías constructoras especializadas en micro hidro-electricidad y que tengan la capacidad técnica interna para realizar la inspección, construcción y mantenimiento. Para plantas de mayor capacidad, o grupos de plantas, se justificaría contratar los servicios de una firma de ingenieros consultantes. Los diseños dentro del rango de 25 a 100 kW pueden con frecuencia ser ejecutados por injerto de las habilidades y tecnología necesarios en firmas existentes de ingeniería agrícola o de irrigación, que en muchos casos ya tienen la habilidad para desempeñar la mayor parte del trabajo. Dichos planes podrían incluir transmisiones de alto voltaje aunque no en todos los casos. Las instalaciones de 5 kW a 25 W pueden ser ejecutadas por empresas locales, de la aldea o la cooperativa y este es el rango que fue utilizado muy comunmente en el Imperio Británico en la década de 1930 y más recientemente en la República de la Gente de la China. Para justificar el costo de un ingeniero que deba administrar tal arreglo sería necesario promover el desarrollo paralelo de pequeños talleres de ingeniería en el lugar de la estación hidráulica de modo que sólo una pequeña proporción del tiempo del ingeniero sea dedicada a la estación y de tal modo que sólo esa proporción vaya al costo de la producción de electricidad.

Cuanto más pequeña la unidad, menor será la tarea de la autoridad central, de modo que si decimos que un sistema hidráulico de pequeña escala es anti económico no reflejaríamos la verdad, lo único que se necesita es un sistema de implementación bien planificado y eficiente. El caso extremo es aquel en que la planta está en el rango de 5 kW cuando el

portion of the engineer's time is spent and hence costed to the production of electricity.

The smaller the unit, the less the involvement of any central authority can be; so it is not true to say that small scale hydro is uneconomic, only that to be economic the system used to implement it must be very slim and efficient. The extreme case is of plants in the range up to 5 kW where the customer is the key person and he must be trained to install and run his own plant, however simple it may be, and he must bring any problems back to a central point, which may be a larger power station having an engineering shop as previously mentioned. So we are looking at similar patterns to those developed for low cost medical services.

To summarize, it is the planner's job to have an overview of the technology and the type of development needed and to foster some of the early installations. It is necessary for them to work out systems for training, local manufacturing, supplies and backup. These will be determined by the scale and mix of plant sizes.

### **Site Surveys**

The site survey is one of the most important jobs in micro hydro and it should be carried out by a person who is very closely connected with the design and installation. On projects of less than 100 kW, I would recommend that all jobs are done by the same people. This gives complete continuity between all stages, the installers having to suffer or benefit from their own survey and design. There is much greater job satisfaction when a complete installation has been managed by one group, there being no other party to blame if things do not work out as planned. It is quite useless in my opinion sending out surveyors who have little experience with micro hydro or do not have a very thorough understanding of the possibilities. The more people involved, the more chance of a failure due to poor communication between the parties. It is better to have specialists in the various fields who can be called on by key man if and when they are required.

### **Manufacturers**

There is unlikely to be enough work to start a company specifically to produce hydroelectric equipment. So the skills and technology can be introduced into an existing company or an assembly and design company can be started at low cost and much of the heavy work subcontracted.

consumidor es la persona principal y se lo debe entrenar para instalar y operar su propia planta aún cuando sea de lo más simple y él debe traer sus problemas a un punto central que pudiera ser una estación de energía de mayor capacidad que tenga un taller de ingeniería como se ha mencionado anteriormente. De este modo estamos estudiando patrones similares a los desarrollados para proporcionar servicios médicos a bajo costo.

En síntesis, es responsabilidad de los planificadores hacer un estudio general de la tecnología y el tipo de desarrollo necesario y auspiciar las primeras instalaciones. Es necesario que ellos desarrollen sistemas de entrenamiento, manufactura local, abastecimiento y mantenimiento de repuestos. Esto será determinado por la escala y variación de los tamaños de las plantas.

### **Inspecciones de Lugar**

La inspección del lugar es una de las tareas más importantes en pequeñas plantas hidráulicas y debe ser realizada por una persona bien informada del diseño y la instalación. En proyectos de menos de 100 kW se recomienda que todas las tareas sean realizadas por las mismas personas. Esto proporciona continuidad en las diferentes etapas, dando a los instaladores el beneficio de su inspección o diseño o, en caso contrario, teniendo que sufrir las consecuencias. Hay mucho mayor satisfacción cuando una instalación completa ha sido operada por el mismo grupo, cuando no hay ocasión de hechar la culpa a otros cuando algunos aspectos no resulten de acuerdo a los planes. No hay razón en absoluto de enviar inspectores que tengan poca experiencia con plantas hidráulicas pequeñas, o que no tengan perfecto entendimiento de las posibilidades. Cuanto más gente esté envuelta mayor será la oportunidad de fallas debidas a la falta de comunicación entre las partes. Es mejor tener especialistas en los diversos territorios que puedan responder al llamado de personas claves en caso de necesidad.

### **Fabricantes**

Las posibilidades son muy escasas de que haya suficiente trabajo como para comenzar una compañía específicamente para producir equipo hidroeléctrico. De modo que la tecnología y las destrezas pueden ser introducidas a una compañía existente o se puede iniciar una compañía de ensamble y diseño a bajo costo y sub-contratar la mayoría del trabajo pesado.

### **Tecnología**

**Trabajos Civiles.** La proporción del presupuesto que se debe gastar en los trabajos civiles de prepara-

## **Technology**

**Civil Works.** The proportion of the budget that is spent on civil works varies from site to site, but there are several considerations that should be taken into account at the planning stage. Firstly, capital and maintenance costs are closely related, i.e. the better you build, the less you will have to spend annually on maintenance. It should be noted that if a structure cannot withstand the worst flood or landslip, etc., then it is far better to regard certain parts of the civil works as expendable. This applies particularly to the construction of dams. In many cases the construction of a dam can be totally avoided by increasing the length of the intake channel so that it arrives at the river at or below the level of the bed. If a dam is constructed and it fails during a flood, it may not be possible to make repairs until the dry season and at considerable cost in lost power and materials. If, on the other hand, a 'seasonal intake' is used, the damage that can be done during a flood can be rectified in a few days at most and as the water level falls, so it is unlikely that any generating time will be lost at all.

Where possible, on-site materials should be used for the construction of the intake channel and only in exceptional cases will the channel be concreted. This is just one illustration of how the technology used will affect the cost and local maintenance of a scheme.

**Mechanics.** The most common call in micro hydro machinery manufacture is to standardize, and the manufacturers always say that it is not possible. I would say that it is not wise to think in terms of standard machines because no one is going to waste 20 meters of head because his machine is designed for 50 meters of head and not 70 meters. Because the high cost is in getting the water to the machine, and there is little cost saving in mass production, what I would advocate is a standard, or number of standard systems, where the details of the site are fed in. Using these systems, we build a machine.

The traditional criteria used to plan micro hydro installations may not apply — namely, all year round power, engineer maintenance, industrial world supplies. It may be found that the small number of kilowatts generated during the dry season does not justify the extra expense of another small turbine or a variable flow machine. It should be noted that two fixed

cion varía de lugar a lugar pero hay varias consideraciones que se deben tomar en cuenta en la etapa del planeamiento. En primer lugar, los costos del capital y mantenimiento tienen estrecha relación, es decir, cuanto mejor se construya inicialmente, menor será el gasto anual de mantenimiento. Se debe tomar en cuenta que si una estructura no puede sobrevivir la peor inundación o deslizamiento de las laderas, etc., sería mucho más práctico considerar ciertas partes de los trabajos civiles como gatos normales. Esto se aplica particularmente a la construcción de represas. En muchos casos se puede evitar la construcción de una represa mediante el aumento de la extensión del cauce de alimentación de manera que llegue al río a nivel or por debajo de la cuenca. Si se construye una represa y falla durante una inundación, es posible que no se la pueda reparar hasta la estación de la sequía y esto implicaría considerable costo en pérdida de energía y materiales. Por otra parte, si se utiliza una "alimentación en la estación" el daño producido durante una inundación podría ser rectificado al máximo en unos pocos días y a medida que baja el nivel del agua, así que se minimice la posibilidad de pérdida de tiempo en la generación de energía.

Siempre que sea posible, se deben utilizar materiales del lugar para la construcción de cauce de alimentación y sólo en casos excepcionales el canal ha de ser de material concreto. Esta es sólo una ilustración de cómo el uso de la tecnología afectará el costo y el mantenimiento local de un sistema.

**Mecánica.** La solicitud más común en la fabricación de maquinarias para plantas hidráulicas pequeñas es la de normalización y los fabricantes siempre dicen que no es posible. No es recomendable pensar en términos de máquinas standard porque nadie va a desperdiciar 20 metros de caída porque la máquina fué diseñada para una caída de 50 metros en vez de 70 metros. Como el costo elevado es esencialmente la traída del agua a la máquina, y hay poco ahorro en la producción en masa, favorecemos un sistema standard o una serie de sistemas standardizados en los cuales se incluyen los detalles del lugar. Utilizando estos sistemas, se construye una maquinaria.

Quizá no se apliquen los criterios tradicionales utilizados para planear las instalaciones micro hidroeléctricas, tales como energía durante todo el año, mantenimiento de las máquinas, suministro de las necesidades industriales del mundo, etc. Se podrá notar que la pequeña cantidad de kilowatts generados durante la estación de la sequía no

geometry machines of different sizes make far better economic sense than one variable geometry one. It may also be economic to generate power during the dry season with diesel. On a network which is run largely by diesel plants, a hydro installation may be regarded simply as a fuel saving device, i.e. every kW generated is fuel saved and it makes no difference what time of year it is running. When designing the machine, due consideration should be given to what maintenance will be required and who will carry it out. If maintenance periods are short and the failure to carry it out does not cause permanent damage to the equipment, then it will probably get done. For example, if plain bearings are used and they are not greased, they will heat up and seize within a few days and the operator will soon learn that, if he requires the power, then he must grease the bearings. An alternative is to use sealed bearings and this changes the responsibility to the manufacturer to state when they should be replaced. The intermediate stage of greased ball races is in my opinion very unsatisfactory, because a lot of damage is caused by using the wrong or dirty grease or by over-greasing causing heating or damage to the seals. Failure of a ball race is usually catastrophic and may damage other components.

There is usually little hope of running the plant even under reduced load until such time as a replacement can be found. The shutdown of a plant at a critical time of the year could be very serious. If it is the intention to manufacture all or part of the machinery in the country, then the broad design criteria should be discussed at the planning stage so that the necessary skills can be obtained where and when they are required.

**Governing Systems.** Micro hydro installations are either hand controlled or have some form of mechanical or hydraulic governor. The mechanics of governing an impulse turbine are not too complicated as far as the turbine design is concerned, but for low head reaction turbines the extra cost of a variable flow turbine is considerable, excluding the cost of the actual governor, which may be many thousands of pounds. By adopting a system of electronic load control, you can design a very cheap turbine and yet obtain a very acceptable degree of accuracy in control. Another advantage is that turbine construction can be separated into two, rather than

justifica el costo adicional de otra turbina pequeña o una máquina de flujo variable. Se debe notar que dos máquinas de geometría fija de diferente tamaño resulta en mayor economía que una de geometría variable. También podría ser económico generar energía diesel durante la estación de la sequía. En un sistema que opera principalmente con plantas diesel, una instalación hidráulica puede ser considerada simplemente como un medio de economizar, ejemplo, cada kW generado representa combustible ahorrado y no importa en qué estación del año opere. Durante el proceso del diseño de una máquina se debe dar consideración al tipo de mantenimiento que sería requerido y quién lo ha de ejecutar. Cuando los períodos de mantenimiento son cortos y la falla de su ejecución no causa daño permanente al equipo, se debiera realizar la tarea. Por ejemplo si se utilizan rodamientos sencillos y no se los engrasa, se calentarían y fallarían en unos pocos días y el operador aprenderá que si necesita la energía, deberá engrasar los rodamientos. Una alternativa sería utilizar rodamientos sellados y esto cambia la responsabilidad al fabricante quien debe especificar el tiempo cuando se los debe reemplazar. El estado intermedio de los engrasados es muy insatisfactorio porque se puede producir mucho daño con el uso de grasa de diferente calidad o grasa sucia o engrasando de más lo cual causa el calentamiento y el daño a los sellos. Las fallas de los balineros son generalmente catastróficas y pueden producir daños a otros componentes.

Usualmente casi no hay esperanza de operar la planta aún bajo carga reducida hasta el momento cuando se hayan conseguido los repuestos. El cierre temporal de una planta en una etapa crítica del año podría tener serias consecuencias. Si es la intención fabricar toda o parte de la maquinaria en el país, entonces se deberá estudiar amplios fundamentos del diseño durante el período del planeamiento así que se puedan obtener las técnicas y habilidades necesarias donde y cuando se las necesite.

**Sistemas de Regulación.** Las instalaciones micro hidroeléctricas son generalmente a control manual o tienen alguna forma de regulación mecánica o hidráulica. De regulación de una turbina a impulso no es muy complicada en cuanto se refiere al diseño de la turbina pero para las turbinas a reacción de baja caída, el costo extra de una turbina a flujo variable es considerable, excluyendo el costo del regulador mismo, que puede ser de miles de libras. Mediante la adopción de un sistema con control electrónico de la carga se puede diseñar una turbina muy barata y aún obtener un grado bien aceptable de precisión en el

three, engineering areas. In the traditional system, there is heavy construction, the precision engineering and the electrical areas. With our system there is the heavy fabrication and the electrical and electronic areas. The implication of this is that to build precision governors requires a large investment in terms of skill and machine tools, which will be very underutilized. With electronic control, one man with a few hand tools can supply the entire industry. It is very cheap and easy to change designs as there is little in the way of jigs and tooling. Electronic components are light and easy to transport and can be made in the form of plug-in modules so that they can be replaced by semi-skilled engineers. They are not only cheap in themselves, but allow you to make use of very cheap turbine designs, suitable for construction in agricultural engineering workshops. There is no routine maintenance with electronics and they have proved to be very reliable indeed. By using load control, all the available water is converted into electrical power and, although the surplus can be wasted as heat to the atmosphere, there are many end uses to which this secondary power can be put.

### **Training**

This is an integral part of development and should proceed from the outset. Every installation is a live training opportunity. With the smaller schemes, there is no question of being able to justify a team of specialists in hydrology, civil engineering, mechanics and electricians. For plants below 100 kW, we must train-up a totally new 'creature' — a micro-hydro engineer who must be an all-rounder. It is no good having an electronics engineer go out to a site which may take days, only to find that the cause of a problem is mechanical and not electrical, and be unable to fix it.





control. Otra ventaja es que la construcción de la turbina puede entonces separarse en dos áreas de ingeniería en vez de las tres áreas. En el sistema tradicional hay construcción pesada, ingeniería de precisión y áreas eléctricas. Con nuestro sistema hay fabricación pesada y las áreas eléctricas y electrónicas. Lo que esto implica es que para construir reguladores de precisión se necesita una inversión significativa en herramientas y máquinas especializadas que no serán utilizadas a toda su capacidad. Con control electrónico, un operador puede abastecer a toda la industria con unas pocas herramientas manuales. Es fácil y cuesta poco cambiar diseños ya que hay poca complicación con maquinarias y herramientas. Los componentes electrónicos son livianos y fáciles de transportar y se los puede construir en unidades modulares que se enchufan y así los ingenieros semi-adiestrados pueden reemplazarlas. No solamente son muy baratos de por sí, sino también permiten hacer uso de diseños de turbinas a bajo costo, adecuados para construcción en talleres de ingeniería agrícola. Con las unidades electrónicas no hay mantenimiento de rutina y las consideramos de muy buenos resultados. Mediante el uso de control de la carga, toda el agua disponible se convierte en energía eléctrica y aunque el exceso puede ser considerado como calor desperdiciado al ambiente, hay muchos usos finales donde se podría utilizar esta energía secundaria.

### **Entrenamiento**

Esta es una parte integral del desarrollo y debe comenzar desde el principio. Cada instalación es de por sí una oportunidad viva de entrenamiento. Con los proyectos más pequeños no hay cuestión de poder justificar un equipo de especialistas en hidrología, ingenieros civiles, mecánicos y electricistas. Para plantas de menos de 100 kW debemos entrenar una nueva "creación" — un ingeniero micro hidráulico que debe entender de todo. De nada sirve enviar a un ingeniero electrónico a un lugar donde deba tomar días sólo para encontrar que la causa de un problema es mecánico y no eléctrico y que no lo pueda componer.



# Impactos Ambientales de la Energía Hidroeléctrica en Pequeña Escala

David Zoellner

---

Cuando quiera se tome acción para alterar el medio ambiente físico, hay que confrontar consecuencias, algunas positivas, algunas negativas. La hidroelectricidad a pequeña escala es generalmente menos destructiva que muchos otros proyectos de servicio público. No obstante hay problemas potenciales y oportunidades sinérgicas que los planificadores deben considerar en el desarrollo de pequeñas centrales hidro. David Zoellner los bosqueja así como también algunos de los métodos que se pueden utilizar para efectuar análisis sobre el impacto ambiental.

---

## Introducción

Al planificar es necesario considerar tantos impactos de un desarrollo determinado como sea posible. De este modo, los impactos de todo tipo pueden ser factoreados en el proceso de planificación antes de tomar la decisión de si se ha de seguir adelante con el proyecto o no. En este proceso se realizan esfuerzos para considerar tanto los impactos positivos como los negativos. Este método se aplica tanto a proyectos específicos de un sitio como a un esquema de desarrollo regional o a un plan nacional. El objetivo básico del asesoramiento de los impactos es el de determinar si los impactos positivos pesan más que los negativos. La decisión última de si se ha de proseguir o no con un proyecto o programa específico es de carácter político.

Quienes tomen la decisión final deben factorear todos los impactos significativos tales como el social, institucional, ambiental, económico y técnico en una vista de conjunto. Hay muchos métodos y técnicas disponibles para asistir a quienes deban tomar decisiones en la evaluación de los impactos, riesgos de asesoramiento, opciones de desarrollo, para finalmente tomar una decisión.

El asesoramiento del impacto ambiental es uno de dichos métodos. Es un método de planificación que con frecuencia resulta en la multiplicación de los beneficios que se puedan derivar de un proyecto determinado. El control de las inundaciones y el desarrollo de la pesca son beneficios ambientales que se derivan con facilidad de los proyectos de pequeñas

# Environment Assessment of Small Scale Hydropower

David Zoellner

---

Whenever action is taken to alter the physical environment, there are consequences: some positive, some negative. Small-scale hydropower is generally less destructive than many other public works projects. However, there are potential problems and synergistic opportunities that planners should consider in developing small hydro. David Zoellner outlines these and some of the methods that may be used in environmental impact analyses.

---

## Introduction

In planning it is necessary to consider as many of the impacts of a given development as possible. That way, the impacts of all possible outcomes may be factored into the planning process before a decision is made on whether or not to proceed. In this process, efforts are made to consider both positive and negative impacts. This holds true for a site specific project, a regional development scheme, or a national plan. The basic objective in impact assessment is to determine whether the positive impacts outweigh the negative ones. The ultimate decision of whether or not to proceed with a particular project or program is a political one.

The decision-maker must factor all of the significant social, institutional, environmental, economic and technological impacts into an aggregated picture. There are many tools and techniques available to assist decision-makers in evaluating impacts, assessing risks, developing options and in finally reaching a decision.

The environmental impact assessment is one of these tools. It is a planning tool that often results in multiplication of the benefits derivable from a given project. Flood control and fisheries development are environmental benefits that are readily available from small hydroelectric projects. The essence of an environmental assessment is that it is an opportunity to take a broad perspective on a given project. Rather than an

centrales hidroeléctricas. La esencia del asesoramiento ambiental está en la oportunidad que proporciona para observar un proyecto dado con una perspectiva más amplia. Se lo debe considerar como una oportunidad de ganar al máximo los beneficios del proyecto al mismo tiempo que se reducen al mínimo las consecuencias negativas a los recursos físicos y humanos, mas bien que considerarlo como una dificultad adicional para la planificación.

## **Vista Panorámica del Asesoramiento Ambiental**

El desarrollo de los recursos energéticos es un área de tópico ideal para examinar el proceso de asesoramiento. Voy a abarcar en este documento el impacto de los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas (menores de 1 MW) primordialmente sobre el ambiente natural o físico, sin incluir el elemento social, o sea, el fabricado por el hombre.

La categoría de la ecología humana, o el ambiente formado con intervención del hombre es importante por cuanto tiende a integrar muchos de los impactos de otras áreas (social, económico, etc.) y presenta una visión total del panorama, lo cual no es nuestra intención. Los impactos sobre el ambiente humano constituyen un paso posterior y al fin de este artículo voy a resumir una técnica para entrelazar los impactos físicos con los del ambiente humano.

El ambiente físico incluye recursos acuáticos y terrestres ambos, con vida y sin vida. Ejemplos de recursos vivos son los peces y las vidas silvestres, su ambiente natural y número de habitantes. Ejemplos de recursos sin vida son el agua y el suelo y sus propiedades físicas y químicas.

Hay dificultades inherentes a la conducción de un asesoramiento ambiental, y dichas dificultades no se relacionan exclusivamente a los países en desarrollo. Ellas incluyen, pero no están limitadas a la falta de personal cualificado, entrenamiento inadecuado del personal, presupuestos insuficientes, inexistencia de información, conflictos institucionales, irracionales limitaciones de tiempo, planificación con prejuicios y involucramiento del público.

A menudo se da poca consideración a los recursos requeridos para desarrollar una capacidad para realizar análisis ambientales que den buenos resultados. Aunque hay algunas excepciones, usualmente no se da alta prioridad a la consideración de los impactos ambientales en el proceso de formular decisiones.

Es muy difícil encontrar personal calificado y con experiencia para formar un equipo de trabajadores

additional burden on planning, it is a means of maximizing the utility of the project while minimizing negative consequences to physical and human resources.

## **Overview of Environmental Assessment**

The development of energy resources is an ideal topic area to examine this assessment process. I shall limit the scope of my discussion to the impact of small hydropower (less than 1MW) projects on primarily the natural, or physical environment and to not include the social or man-made element.

The category of human ecology or the man-made environment is important as it tends to integrate many of the impacts from other areas (social, economic, et al) and presents a more holistic view than is intended here. The impacts on the human environment are a later step and, at the end of the paper, I will describe a technique for interfacing the physical impacts with the human environment.

The physical environment includes the water (aquatic) and land (terrestrial) resources, both living and non-living. Examples of living resources are fish and wildlife, their habitats and populations. Examples of non-living resources are water and soil and their physical and chemical properties.

There are difficulties inherent to conducting an environmental assessment and they are not unique to developing countries. These include, but are not limited to, lack of qualified personnel, inadequate staff training, insufficient budget, no existing information, institutional conflicts, unreasonable time frames, prejudiced planning and public involvement.

The resources required to develop a capability for successful environmental analyses are often underestimated. Although there are some exceptions, environmental impacts are usually not top priority in the decision process. It is very difficult to find qualified and experienced personnel to employ in an analytical staff or to retain for consulting. In the latter case, there is the additional uncertainty of availability at the right time. At least a partial solution to this problem is government-subsidized environmental education in high schools, universities, and technical-vocational schools. Another partial solution is the development in both the public and private sectors of environmental laboratories. Some may emphasize

analíticos o para retenerlos como consultantes. En el último caso existe la incertidumbre de si estarían disponibles en el momento adecuado. Por lo menos una solución parcial a este problema es la educación ambiental con subvención por el gobierno en las escuelas secundarias, universidades y escuelas técnicas vocacionales. Otra solución parcial es el desarrollo de laboratorios ambientales tanto en el sector público como en el privado. Algunos podrán dedicarse con énfasis a la investigación básica y a la aplicada y otros proveerán servicios analíticos y técnicos de rutina.

Es deseable suministrar entrenamiento adecuado al personal, pero es a menudo difícil de poner en efecto. El personal dedicado al asesoramiento ambiental necesita ser entrenado no sólo en los procedimientos particulares de la organización para la cual trabajan, sino que necesitan entrenamiento periódico (re-entrenamiento, cursos para actualización) en las disciplinas de sus análisis.

Muchos perciben que la calidad del ambiente es preocupación que pertenece a la clase media, una entidad que por lo general no existe en la mayoría de los países en desarrollo. Los muy pudientes pueden escapar a ambientes prístinos y relativamente saludables. Los pobres (tanto en dinero como en recursos) por lo general tienen poca influencia política, han vivido siempre en viviendas de ambiente degradado y si se les diera la oportunidad de escoger entre un ambiente limpio y comida en el estomago, escogerían esto último.

La disponibilidad de información sobre la cual basar un análisis es a menudo escasa o totalmente inexistente.

La colección de datos básicos es esencial para construir un modelo y para otros esfuerzos sofisticados. En ausencia de datos básicos adecuados, el juicio del analista se torna más importante, particularmente si el tiempo sólo permite una misión de mero reconocimiento superficial de campo. Ocasionalmente, para comprender mejor los impactos posibles y para poder suministrar alguna base para la comparación de los impactos de otros desarrollos similares, un lugar determinado puede ser elegido para observación intensiva de los indicadores ambientales claves en un estudio de comparación de "antes y después." Esta observación ha de comenzar antes que el desarrollo y continuar por un período suficientemente largo como para establecer los patrones naturales y ha de continuar durante el período de desarrollo y aún más

basic and applied research and others provide routine analytical and technical services.

Providing adequate training for personnel is desirable, but often difficult to do. Staff used in environmental assessments need to be trained not only in the particular procedures of the organization for whom they work, but they also need periodic training (retraining, refresher courses) in the discipline of their analysis.

Environmental quality is perceived by many to be the concern of the middle class, an entity that is by and large absent in great quantities in developing countries. The very wealthy are able to escape at will to relatively healthful and pristine environments. The poor (in both money and resources) usually have little political influence; have always lived in habitats of a degraded environment and, when given a choice between a clean environment and a full stomach, will choose the latter.

The availability of information upon which to base an analysis is often sparse or non-existent. Base line data is essential for model building and other sophisticated efforts. In the absence of suitable base line data, the judgement of the analyst becomes more and more important particularly if time allows nothing more than a cursory field reconnaissance mission or two. Occasionally, in order to better understand likely impacts and to provide some basis for comparing impacts of other similar developments, a particular site may be chosen for intensive monitoring of key environmental indicators in a "before and after" comparison study. This monitoring will begin prior to any development for a sufficiently long period to establish natural patterns and will continue through the development stage and beyond. Obviously, it is often difficult to get sufficient lead time on a planned development to collect adequate environmental preconstruction data. Although costly and time consuming, this is the most accurate — though least used method — of measuring the true environmental impacts of a given development project. The most common approaches are simulation and various other analytical techniques using description, diagrams, maps, charts, matrices and quantitative methods of varying complexity.

The cooperation of institutions in providing information, contacts, technical and financial assistance is of prime importance in performing an environmental assessment. Government agencies in agriculture, mining and energy,

adelante. Es obvio que frecuentemente es difícil conseguir suficiente tiempo como para coleccionar información ambiental adecuada, antes de la construcción de un proyecto cuyo desarrollo se ha planificado.

Aunque costoso y que toma tiempo, éste es el método más preciso — aunque el menos usado — para medir los verdaderos impactos ambientales del desarrollo de un proyecto determinado. Los métodos más comunes son la simulación y hay varias otras técnicas analíticas que utilizan descripciones, diagramas, mapas, cuadros, matrices, y métodos cuantitativos de complejidad variada.

La cooperación de las instituciones que proveen información contactos, asistencia técnica y financiera, es de primordial importancia en la ejecución de un asesoramiento ambiental. Las agencias del gobierno en agricultura, energía y minas, recursos naturales y otros campos deben poner a un lado sus propios intereses y deben evitar la defensa "territorial" y los "juegos de poder" poniendo por encima de todo el interés común de utilizar los recursos para el bien común.

Con pocas excepciones, la cantidad de tiempo asignado para realizar un asesoramiento ambiental es siempre insuficiente. A veces, se piensa acerca del asesoramiento ambiental después del hecho, ó en el mejor de los casos se lo considera un lujo deseable si hubiera tiempo y dinero disponible. Este fenómeno todavía existe en las mentes de muchos en los Estados Unidos, particularmente en el sector privado.

Una solución parcial es el desarrollo programático o genérico de las declaraciones de impacto ambiental que generalmente delinean los impactos de un programa o un proyecto de desarrollo a gran escala al mismo tiempo que se solicita el programa o los fondos del presupuesto del proyecto. Si se identifican los riesgos ambientales en potencia así como los beneficios, mediante un amplio asesoramiento en las primeras etapas de la planificación, se podrá enfocar tiempo y atención en detalle a los impactos más críticos. Este método también suministra información útil que puede ayudar a los que tengan que tomar decisiones en el proceso de la aprobación del presupuesto.

Muchas dificultades se originan cuando se establece un prejuicio sobre los impactos que un desarrollo determinado ha de tener sobre el medio ambiente. Esto resulta especialmente difícil cuando una agencia gubernamental de desarrollo, que tiene intereses creados en el desarrollo de un proyecto o en la implementación de un programa, tiene también a su cargo

natural resources and other fields must put self-interest aside and avoid "turf protecting" and "power plays" in the interest of sharing resources for a purpose that will benefit all.

With few exceptions, the amount of time allocated for an environmental assessment is always insufficient. At time, an environmental assessment is thought of after the fact, if at all, or at best it is considered to be a luxury that would be nice to do if there were time and money available. This phenomenon still exists in the minds of many in the U.S., particularly in the private sector.

A partial solution is to develop programmatic or generic environmental impact statements which lay out the general impacts of a program or large scale development project at the same time that the program or project budget is requested. By identifying potential environmental hazards as well as benefits via a broad assessment at such an early stage in planning, time and attention can then be focused in more detail on the more critical impacts. This approach also provides useful information that would aid decision-makers in budget approval.

Many difficulties arise when a pre-judgement has been made on the environmental impacts of a given development. This is most troublesome when a government development agency with a vested interest in seeing a project developed or program implemented, is also charged with conducting the environmental impact of said project. This intra-agency conflict of interest usually results in the underestimation of environmental impacts. In the U.S. and other developed countries, this is often the point at which environmental interest groups become involved, often to the point of litigation.

This leads to the last problem area of public involvement. The difficulties with public involvement are in educating government agencies concerning the utility of public involvement and in using public opinion and participation in an effective way. Public involvement is becoming an increasingly important factor in decision-making in resource planning and development as populations increase and many resource bases diminish. In the U.S., government agencies actively solicit public participation in planning via holding town meetings, public hearings and coordinating with key special interest groups who represent the common interests of large sectors of the population in one or more subjects.

la conducción del análisis del impacto ambiental de dicho proyecto. El conflicto de intereses internos de la agencia usualmente resultan en una evaluación inadecuada de los impactos ambientales. En los Estados Unidos y otros países desarrollados, este es a menudo el punto al cual intervienen grupos de interés ambiental, que con frecuencia llegan hasta el punto de traer el caso a litigación. Esto nos lleva al último área de problema relativo a la involucración pública. Las dificultades con la intervención pública se relacionan al beneficio de educar a las agencias gubernamentales respecto a la utilidad de la intervención pública y en el uso de la opinión y participación públicas de un modo efectivo. La intervención pública se convierte en factor de importancia creciente en el proceso de formular decisiones para la planificación y desarrollo de recursos a medida que las poblaciones aumentan y muchas de las bases de dichos recursos disminuyen. En los Estados Unidos, las agencias del gobierno solicitan activamente la participación del público mediante la organización de asambleas públicas, audiencias públicas y coordinación con grupos de interés clave especiales que representen los intereses comunes de grandes sectores de la población respecto a uno o más temas.

La intervención pública puede ser muy útil en circunstancias especiales tales como cuando virtualmente no hay información básica disponible. Por ejemplo, utilizando residentes locales en un comité consejero, se podría desarrollar una historia de eventos de recursos naturales — inundaciones, sequías, plantas y animales endémicos, etc.

En los países en desarrollo, todas las dificultades mencionadas están presentes en un grado u otro. Donde existen, se hacen más complejas por causa de las redes de menor desarrollo tecnológico para la vida y el trabajo — distribución de la correspondencia, teléfono y otras comunicaciones, transporte, desarrollo económico, y otras formas de infraestructura. Esto resulta en más altos niveles de frustración y mayores períodos de demora, en todos los diferentes aspectos.

En el resto de este artículo voy a enfocar la atención específicamente en los impactos ambientales de la hidroelectricidad en pequeña escala. Los tópicos a cubrir son: revisión de los impactos generalizados, estructura para el análisis, escala de factores, impactos relativos, técnicas, y referencias del estudio.

## **Impactos Generalizados**

Mucha de la información resumida aquí fué obtenida de publicaciones del Departamento de

Public involvement can be quite useful in special circumstances such as one in which there is virtually no base line data available. Using local residents as an advisory committee, for example may prove useful in developing a history of natural resource events — floods, droughts, endemic plants and animals, etc.

In developing countries all of the above difficulties are present, to one degree or another. They are compounded, where they exist, by less developed technological networks for living and working — mail delivery, telephone and other communications, transportation, economic development, and other forms of infrastructure. The results are higher levels of frustration and longer time delays, across the board.

In the remainder of this paper I shall focus specifically on environmental impacts of small scale hydropower. The topics to be covered are: an overview of generalized impacts; a framework for analysis; scale factor; relative impacts; techniques; and study references.

## **Generalized Impacts**

Much of the information summarized here was obtained from publications of the U.S. Dept. of Energy Small Hydropower Development Program and the U.S. Army Corps of Engineers National Hydropower Study. The focus is limited to the impact of small-scale (less than 1 MW) projects.

The environmental impacts of small scale hydropower may be separated into those associated with site development and those associated with facility operation.

## **Construction**

The most serious site development impacts are associated with the construction of a dam for impoundment. The significant overall effect here is the permanent change of aquatic habitat from flowing stream to a reservoir and the flooding of the terrestrial habitat associated with the stream. This results in changed ecosystems: aquatic insects, invertebrates, vascular plants, algae, and fish change from those associated with a cool, swift running stream to those which thrive in a relatively warm, still lake environment. The dam also serves as a block for species migrating up and downstream.

Other construction impacts derive from the development of a road, however basic, to the site for the movement of equipment and supplies and from the generation of noise and dust during construction. The general effect of these kind of

Energía de los EE. UU., del Programa de Desarrollo de plantas Hidroeléctricas Pequeñas, y del Estudio Nacional de Energía Hidroeléctrica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. El foco está limitado al impacto de los proyectos en pequeña escala (menos de 1 MW).

Los impactos ambientales de las plantas de energía hidroeléctrica de pequeña escala pueden ser separados en aquellos asociados con el desarrollo del lugar y aquellos asociados con la operación de las facilidades.

### **Construcción**

Los más serios impactos del desarrollo del lugar son asociados con la construcción de un dique de contención. Aquí el efecto total significativo es el cambio permanente del ambiente de habitación acuática de las corrientes que fluyen a un reservorio y la inundación de la habitación terrestre asociada con la corriente. Esto resulta en cambios en los sistemas ecológicos — insectos acuáticos, invertebrados, plantas vasculares, algas, y cambios en los peces de los asociados con una corriente de agua fresca, que corre con velocidad a aquellos que viven mejor en ambientes relativamente tibios, como los ambientes de un lago estático. El dique también sirve como bloqueo para las especies migratorias que viajan para arriba y abajo en la corriente.

Otros impactos derivados de la construcción incluyen el desarrollo de un camino al lugar, aunque básico, para el movimiento de equipos y suministros y de la generación de ruido y polvareda durante la construcción. El efecto general de estos tipos de actividades es que espanta la vida silvestre, la cual puede no retornar, dependiendo del grado en que se perturba la vivienda.

El impacto más significativo de la construcción sobre recursos acuáticos es la introducción de sedimento en la corriente. La extensión y tipo del impacto dependerá de las características de la corriente, la geología que la rodea y el tipo de suelo.

Las corrientes que corren con velocidad en áreas de alta caída que recibe cargas de sedimento muy fino transportarán el material hasta que la velocidad de la corriente disminuya bastante como para que se asiente, digamos en una porción amplia y profunda de la corriente o en la confluencia de una corriente grande que se mueva más lentamente. Los sedimentos en suspensión causan turbidez, la cual, además de ser antiestética, puede reducir la penetración de la luz y la productividad primaria. La sedimentación puede también introducir nutrientes, materia orgánica, y a veces substancias tóxicas tales

activities is to frighten away wildlife, which may or may not return, depending on the degree of habitat disturbance.

The most significant water resource impact of construction is the introduction of sediment into a stream. The extent and the type of impact will depend upon stream characteristics, surrounding geology and soil type.

Swiftly moving streams in areas of high head that receive loads of very fine sediment will transport the material until the stream velocity slows enough for it to settle out, say at a wide and deep portion of the stream or at the confluence of a large slower moving stream. Suspended sediments cause turbidity, which, in addition to being aesthetically displeasing, can reduce light penetration and primary productivity. Sedimentation can also introduce nutrients, organic matter, and sometime toxic substances such as pesticides into receiving waters, depending on the source. These materials, and reduced primary productivity, often cause depletion of oxygen downstream from construction sites.

Deposition of suspended solids can eliminate certain benthic communities by burying plants and animals, altering the substrate, and clogging gills and food-collecting structures of aquatic insects. Adverse impacts to fish result from (1) damage and thickening of gill epithelia, causing impaired respiratory and salt-regulatory function; (2) reduction in resistance to other stresses such as disease, toxic chemicals, reduced dissolved oxygen, and increased temperature; (3) reduced food availability and impaired feeding behavior; (4) depressed growth rates; and (5) potential reduction in reproductive capability caused by previously maintained blocked migration, siltation of spawning beds, suppression of breeding behavior, and by increased egg mortalities due to burial and reduced dissolved oxygen availability.

There are other dam related potential impacts. Evaporation, seepage, dam safety and schistosomiasis are some of the issues that should be addressed in planning. There will be an increase in loss of water through the increased surface area of a reservoir, particularly in zones of high solar incidence. There may also be loss of reservoir water through seepage into groundwater supplies, depending on amounts of humus, sand and clay in the soil type and porosity of the geologic substrata. The security of the dam against sabotage, tampering

como pesticidas en las aguas recibidas, dependiendo de su fuente de origen. Estos materiales, y la reducción de la productividad primaria a menudo causan el agotamiento del oxígeno corriente abajo de los lugares de la construcción.

Al depositar materia sólida en suspensión se puede eliminar ciertas comunidades bénticas al enterrar las plantas y animales, alterando el substrato y obstruyendo las agallas y las estructuras colectoras de alimentos de insectos acuáticos. Los impactos adversos a los peces resultan a consecuencia de: (1) daño y engruesamiento del epitelio de las agallas, causando dificultad en la respiración y en la función reguladora de la sal; (2) reducción de la resistencia a otras tensiones tales como enfermedades, productos químicos tóxicos, reducida cantidad de oxígeno disuelto, y aumento de la temperatura, (3) reducida disponibilidad de alimentos y deterioramiento del comportamiento alimenticio; (4) crecimiento en proporción deprimida; y (5) reducción potencial en la capacidad reproductiva causada por el ya mencionado bloqueo de la migración, sedimentación depositada sobre los nidos donde los peces depositan sus huevos, supresión del comportamiento reproductor, y aumento de la mortalidad de los huevos que son enterrados y también debido a la reducida disponibilidad de oxígeno disuelto.

Hay otros impactos potenciales relacionados con el dique. La evaporación, el escurrimiento, la seguridad del dique y esquistosomiasis son algunas de las cuestiones que se deberán estudiar durante la planificación. Habrá un aumento en la pérdida del agua por causa de la mayor superficie del área de un reservorio, particularmente en zonas de alta incidencia solar. También podrá haber pérdida del agua del reservorio por causa del escurrimiento en los suministros del agua del suelo, dependiendo de la cantidad de humus, arena y arcilla en el tipo de suelo y la porosidad de los substratos geológicos. También es de importancia crítica la seguridad del dique contra sabotaje, destrucción y aún más importante, terremotos. La disminución del flujo puede también favorecer la diseminación de la esquistosomiasis.

Los diques obstaculizan la migración de peces. Las escaleras para peces han sido desarrolladas extensamente en los Estados Unidos y otros países, especialmente por método de prueba y errores durante muchos años. El costo de una escalera para los peces puede ser substancial, variando típicamente de 8% a 12% o 15% del costo total de la construcción. Hay casos en que dicho costo puede ser mucho menor o

or most importantly, earthquake is also critical. The decreased flow may also be favorable to the spread of schistosomiasis.

Dams prevent fish migration. Fish ladders have been developed extensively in the U.S. and other countries, mainly through trial and error over the years. Cost for a fish ladder can be substantial, typically ranging from 8% to 12% or 15% of the total construction cost. There are cases in which this cost could be much lower or much higher, depending on circumstances.

The impacts from the construction of facilities for diversion systems, run-of-river and irrigation systems are similar to those of dams but with less intensity and, most importantly, no impoundment. A diversion system consists mainly of an inlet structure in-stream, a diversion canal or pipeline, usually a settling basin, a penstock, a powerhouse with turbine/generator and outlet works. Sedimentation from construction and terrestrial habitat disturbance or loss from clearing for the powerhouse and access road or path are the major diversion impacts. A run-of-river facility consists of a low head dam with turbine and generator within or close by. The dam may impound some water but the main purpose is the location of the generating equipment. Major run-of-river impacts result from sedimentation from construction and terrestrial habitat loss from clearing. Use of turbines at sites of abrupt changes in channel elevation of irrigation systems with substantial flow cause the least construction impacts, chiefly because the water system is an artificial one devoid of life and designed as a conduit for water to crops.

The impacts of a retrofit project are of considerably less intensity than those of a new project. There are three possible retrofit cases. The first case is a site which has a hydropower facility already operating and the purpose is either to replace the existing equipment or to add additional turbine(s) and generator(s). Replacing equipment causes no impacts. Addition of equipment requires expansion of the powerhouse, a minimal impact.

The second case is an abandoned site. There may be a range of impacts here. If the site is a diversion facility, the rehabilitation of the equipment, powerhouse and structure would cause only minimal terrestrial habitat disturbance — some sediment may find its way into a stream. If the site is an old power dam, more significant impacts may result from rehabilitation. Silt removal



mucho más elevado, dependiendo de las circunstancias.

Los impactos de la construcción de facilidades para los sistemas de desviación, uso de la corriente del río y sistemas de irrigación son similares a los de las represas pero con menor intensidad y lo que es más importante, sin diques. Un sistema de desviación consiste principalmente en una estructura de caletas en la corriente, un canal de desviación o una cañería, usualmente un estanque de asentamiento, la cañería de toma y la casa de máquinas con una turbina generador y facilidades de descarga. Los impactos mayores ocasionados por la desviación consisten en la sedimentación ocasionada por la construcción y la perturbación de las viviendas de animales silvestres y las pérdidas debidas al corte de la vegetación para limpiar el terreno a fin de construir la casa de máquinas y el camino de acceso. Una facilidad de la corriente del río consiste en una represa de baja caída con turbina y generador incluidos o instalados en las cercanías. El dique puede captar parte del agua pero el propósito general es la ubicación del equipo generador. Los impactos esenciales para la construcción de la corriente del río resultan de la sedimentación por causa de la construcción y la pérdida de la vivienda terrestre ocasionada por la limpieza. El uso de turbinas en los lugares de cambios abruptos en la elevación del canal de los sistemas de irrigación con flujo substancial ocasionan los menores impactos por la construcción, principalmente porque el sistema de agua es artificial y no contiene vida y está destinado a conducir agua a las plantaciones.

Los impactos de los proyectos de retroactivación son de considerable menor intensidad que los de un proyecto nuevo. Hay tres casos posibles en la retroactivación. El primer caso es el de un lugar que ya tiene una facilidad hidroeléctrica en operación y el propósito es el de reemplazar el equipo existente o agregar turbinas y generadores adicionales. El reemplazo del equipo no causaría impactos. La agregación de equipos requeriría expansión de la casa de máquinas, un impacto mínimo.

El segundo caso es una instalación abandonada. Aquí puede haber una variedad de impactos. Si la facilidad es una que utiliza desviación, la rehabilitación del equipo, la casa de máquinas y la estructura sólo ocasionarían mínima transformación de las viviendas terrestres — alguna sedimentación puede escaparse en la corriente. Si la facilidad es una vieja represa de energía, la rehabilitación podría dar resultado a impactos más significativos. La remoción de sedimentos y su desecho así como el refuerzo de la

and disposal and dam reinforcement will generate a substantial amount of noise, dust and stream sedimentation.

The third case is a site with an existing dam with no powerhouse. The impacts of powerhouse construction have already been mentioned.

Several construction practices should be employed as needed to reduce sediment release. These include: mulching and seeding of slopes, using stone and riprap for channels and embankments, and constructing settling basins for discharge of highly turbid water.

Dredging and dredge-spoil disposal are special problems which may be encountered in renovating old dams. Deposited sediments can fill a significant portion of an impoundment's storage capacity, and dredging may be needed for a reservoir to be used for storage and production of peak power. Sediments often contain high concentrations of plant nutrients and oxygen-demanding substances. In addition, dredged materials sometimes hold high concentrations of heavy metals, pesticides, and other toxic materials coming from agriculture, industry, municipal runoff, or mining. Dredging of deposited sediments can damage or even eliminate biological communities in or below the reservoir as sediments are resuspended in the water. Disposal of the dredge-spoil sometimes also presents a difficult problem. Because of potential contamination of surface water and groundwater and habitat destruction, it is generally unacceptable to discharge dredge-spoil in streams, floodplains, wetlands, or downstream areas.

Construction of generating facilities at an existing dam may involve lowering the water level or draining the reservoir. This is not feasible in some cases, for instance, if the reservoir is required for water supply. Nevertheless, at some reservoirs lowering the water level could simplify construction by allowing smaller cofferdams and improving access for construction equipment. In addition, deposited sediments could be removed while dry, avoiding problems of resuspension.

Draining reservoirs, however, may cause more drastic alternation of the aquatic environment than conventional construction methods. Indirect mortality of many organisms is a temporary impact. Organisms are flushed downstream into a stream environment to which they are poorly adapted. Overcrowding can occur if organisms (especially fish) reach standing waters. Grasses

represa generarían una cantidad substancial de ruido, polvareda y sedimentación en la corriente.

El tercer caso es el de un lugar con una represa existente pero sin casa de máquinas. Los impactos de la construcción de una casa de máquinas han sido mencionados anteriormente.

Se deberán emplear diversas prácticas en la construcción, conforme a la necesidad, para reducir el escape del sedimento. Dichas prácticas incluyen el uso de paja y la plantación de semillas en los declives para evitar la erosión, usando piedras o pedregullos para los canales y los bancos, y la construcción de estanques de asiento de la sedimentación para descargar el agua con alta turbiedad.

El dragado y el tirado de los resultados de la draga son problemas especiales que podrían estar presentes en la renovación de antiguos diques. Los sedimentos depositados podrían llenar una porción significativa de la capacidad de almacenaje de la contención y el dragado podría ser necesario para que un reservorio pueda ser utilizado para almacenaje y producción de energía de punta. Los sedimentos a menudo contienen altas concentraciones de nutrientes para plantas y sustancias que requieren oxígeno. Además, el material dragado a veces contiene altas concentraciones de metales tóxicos, pesticidas, y otros materiales tóxicos provenientes de la agricultura, la industria, desagües municipales o de minería. El dragado de depósitos sedimentados puede dañar y aún eliminar comunidades biológicas en los reservorios o debajo de ellos ya que los sedimentos vuelven a suspenderse en el agua. La eliminación de los productos del dragado a veces también presenta problemas difíciles. A causa de la contaminación en potencial del agua de la superficie y el agua de bajo tierra y la destrucción de la vivienda silvestre, por lo general no es aceptable descargar el resultado del dragado en las corrientes, los planos de las inundaciones, los esteros, o las áreas de agua abajo.

La construcción de facilidades generadoras en una represa existente, puede requerir que se baje el nivel del agua o que se drene el reservorio. Esto no sería factible en algunos casos, por ejemplo, si el reservorio fuese requerido para suministrar agua potable. No obstante, en algunos reservorios bajar el nivel del agua podría simplificar la construcción mediante la construcción de diques provisorios más pequeños y mejorar el acceso para los equipos de construcción. Además, los sedimentos depositados podrían ser removidos mientras estén secos, evitando así los problemas de resuspension.

will probably establish themselves during the construction period in the exposed reservoir bottom, except during the winter. Soils will be aerated, and minerals, nutrients, and other substances may be mobilized.

When the reservoir is filled, aquatic communities will develop and undergo ecological succession until colonization is complete and material cycles reach equilibrium. During this period, it is possible to influence the composition of aquatic communities through fish stocking and other management. It may be possible to exclude rough fish and upgrade a reservoir's fishery to more desirable sport or even commercial fish. However, it may require several years or more for a reservoir to recover from draining and filling. These techniques will probably be more feasible and acceptable in small reservoirs.

The other parts of the system in which construction impacts occur are the transmission and distribution aspects. The impacts of this portion are not unique to small scale hydropower. That is, they tend to be the same regardless of the generation technology. Although the emphasis of this paper is on generation, brief mention will be made concerning transmission and distribution construction impacts. Construction of transformer stations and construction of primary and secondary distribution lines basically entail terrestrial habitat modification. This modification mainly consists of clearing of any vegetation for the transformer station and likewise for the power lines. This results in a loss of habitat for small field and forest birds and rodents that live in and around grasses, bushes and small trees.

To summarize construction impacts, the most substantial environmental impacts are sedimentation from soil disturbance and blockage of migrating species, particularly fish, from the erection of a dam. The most substantial terrestrial impacts are loss of small animal habitats in forests and fields due to inundation and construction of roads and powerhouse. Schistosomiasis is a public health concern whenever still water ponds are created.

Mitigation of these impacts is possible to some degree, particularly those related to the stream. Sedimentation can be partially controlled through the erection of riparian barriers and through careful practice as mentioned. Fish migration upstream may be assisted through the construction of fish ladders, series of stair-steps

El drenaje de los reservorios, sin embargo, podría causar alteración más drástica del ambiente acuático que los métodos de construcción convencionales. La mortalidad indirecta de muchos organismos sería un impacto temporario. Los organismos serían arrastrados corriente abajo en ambiente al cual están muy pobremente adaptados. Posiblemente podrían ocurrir amontonamientos si los organismos (especialmente peces) llegaran a aguas estancadas. Probablemente durante el período de construcción crecerían pastos en la base expuesta del reservorio, excepto durante el invierno. Los suelos serían aireados, y los minerales, nutrientes y otras sustancias pueden ser movilizados.

Cuando se vuelva a llenar el reservorio, las comunidades acuáticas se desarrollarán y pasarán por una sucesión ecológica hasta que se complete la colonización y los ciclos materiales alcancen equilibrio. Durante este período es posible influenciar la composición de las comunidades acuáticas mediante la implantación de peces u otras medidas. Sería posible excluir peces rudos y mejorar la calidad de los peces en el reservorio para tener peces más deseables desde el punto de vista de la pesca como sport y aún de la pesca comercial. No obstante, podría requerir varios años para que un reservorio se recupere del drenaje y la vuelta a llenar. Estas técnicas serían probablemente más factibles y aceptables en reservorios pequeños.

Las otras partes del sistema en que ocurren impactos de la construcción son los aspectos de la transmisión y distribución. Los impactos de estas porciones no son exclusivos de la hidroelectricidad en pequeña escala. Es decir, que tenderían a ser los mismos cualquiera fuese la tecnología de la generación. Aunque el énfasis de este documento es la generación, se hará breve mención a los impactos concernientes a la construcción de la transmisión y distribución. La construcción de estaciones transformadoras y la construcción de líneas de distribución primaria y secundaria básicamente implican modificación de las viviendas terrestres de animales silvestres. Esta modificación consiste principalmente en la limpieza de cualquier vegetación para construir la estación transformadora e igualmente para las líneas eléctricas. Esto resultaría en la pérdida de las viviendas de pequeños pájaros del campo y de la selva y de roedores que vivan en los pastizales, arbustos y árboles pequeños, o alrededor de ellos.

En síntesis, cuando se construya un dique, los más importantes impactos ambientales de la construcción son la sedimentación por el alboroto del suelo y el

with physical properties suitable for fish migration.

## Operation

Of the three principal configurations of impoundment, run-of-river and diversion, by far the most significant operation impacts are associated with impoundment.

**Aquatic ecology.** Water use can be indirectly affected by stored water, particularly for peaking power. Pondage can produce pulse flows, i.e., periods of below-normal flow while water accumulates and periods of high flow while power is produced. Although run-of-river or diversion operation would be more common for small/low-head facilities, some facilities will impound water and pulse flows can affect downstream water use and biota.

The type and severity of these impacts will depend on preexisting conditions, changes in the point of water release, and other site-specific factors. The release of water from turbines typically produces considerable turbulence in the tailwater area. This often requires construction or renovation of a stilling basin just below the outlet. Stilling basins are lined with concrete or rock to absorb the turbulent energy of released water. The turbulence below turbine outlets can scour and erode the bottom, especially below stilling basins. This can introduce suspended sediments and alter the downstream habitat as mentioned earlier. Effects are more pronounced below larger dams and with storage operation.

Hydro facilities change the natural patterns of flow and thus alter many features of downstream ecosystems. Small or low-head hydro plants, however, produce smaller impacts than those observed below large storage reservoirs.

Under natural conditions, high flows occur with snow melt or periods of heavy precipitation, often in the spring or fall. Storage impoundments eliminate or greatly reduce flood flows, not only immediately below the dam, but often for great distances downstream. Stable flow and temperature remove cues which trigger migration or reproduction in some benthic organisms and fish.<sup>1</sup> Power generation introduces short-term variations in flow in accordance with demand for electricity. As power generation starts or stops, streamflows can increase or decrease many-fold. These variations can be destructive to benthic organisms and cause a considerable reduction in diversity.<sup>2,3</sup>

bloqueo de las especies migratorias, particularmente de los peces. Los impactos terrestres más substanciales son la pérdida de las viviendas de animales pequeños en los campos y la selva por causa de la inundación y la construcción de caminos y la casa de máquinas. La esquistosomiasis es un problema de salud pública siempre que se creen depósitos de agua estancada.

Hasta cierto punto es posible mitigar estos impactos, particularmente los relacionados con la corriente. La sedimentación puede ser parcialmente controlada mediante la erección de barreras riparias y mediante el uso de cuidadosas prácticas en la construcción. La migración de peces aguas arriba puede ser asistida mediante la construcción de una escalera para peces, una serie de escalones con propiedades físicas adecuadas para que los peces los puedan utilizar.

### **Operación**

De las tres configuraciones principales, de contención, corriente del río, y desviación, la que tiene más significativos impactos de operación son las asociadas con la contención.

**Ecología Acuática.** El uso del agua puede ser indirectamente afectado por el agua almacenada, particularmente para energía de punta. El acopio de agua puede producir flujos de pulsación, i.e., períodos de flujo por debajo de lo normal cuando se acumula el agua y períodos de alto flujo cuando se produce energía. Aunque la operación aprovechando la corriente del río por desviación serían más comunes para las pequeñas facilidades de baja caída, algunas facilidades acopiarán el agua, y los flujos de pulsación pueden afectar el uso de la corriente y todo sistema viviente agua abajo.

El tipo y severidad de estos impactos dependerán de las condiciones pre-existentes, cambios en el punto de retorno del agua y otros factores específicos del lugar. La salida del agua de las turbinas típicamente produce considerable turbulencia en el área de salida del agua. Esto a menudo requiere la construcción o renovación de una cámara de estabilización inmediatamente debajo de la salida. Las cámaras de estabilización van forradas de concreto o rocas para absorber la energía turbulenta de las aguas de retorno. La turbulencia por debajo de las salidas de la turbina puede derrumbar y corroer la base, especialmente debajo de las cámaras de estabilización. Esto puede introducir sedimentos en suspensión y alterar el ambiente agua abajo como se mencionó anteriormente. Los efectos son más pronunciados debajo de los diques mayores y con operación de almacenaje.

Below small/low-head dams both of the impacts discussed above are less likely to occur. During flood flows, dams are often opened to allow maximum discharge. Often, flood waters flow over the dam crest, the tailwater rises, and power generation becomes impossible. At worst, low-head dams may slightly diminish the intensity of flood flows. In reservoirs where water is stored, power generation will cause variation in downstream flow, but flow variations and consequent ecological impact should be smaller than for larger impoundments. Many low-head hydro plants will have run-of-river operation and negligible impact due to variation in flow.

Deep water discharge may have lower, more constant temperature, lower dissolved oxygen, higher concentrations of plant nutrients, other dissolved solids, and dissolved gases including hydrogen sulfide. Each of these factors can affect downstream organisms and the various combinations of factors can produce many different ecological patterns below impoundments. Low dissolved oxygen concentrations can severely reduce populations of fish and benthos, especially the exclusively riverine species. Thermal constancy can cause lower diversity of benthos.

If dissolved oxygen is not limiting, tailwater areas can be extremely productive. Often, however, low dissolved oxygen and high concentrations of plant nutrients combine to produce a zone of low biological diversity and marginal-to-poor water quality. Hydrogen sulfide forms only under completely anaerobic conditions, but it is toxic to fish at rather low concentrations.

The problems of hypolimnetic release should be less common and less severe at low-head impoundments than at high-head impoundments. Stratification can be more easily disrupted in a shallow reservoir. The problems with deep-release discharge can often be prevented or mitigated. If problems are anticipated, discharge outlets can be designed to allow selective withdrawal, although this is often expensive.

Operation of turbines, particularly at dams, can cause adverse impacts to organisms passing through the turbines, especially fish which are migrating downstream. The problems likely to be encountered at small/low-head facilities are substantially less severe than problems of large hydro plants. Passage through turbines exposes organisms to abnormal pressure, turbulence, and mechanical forces. Organisms can be exposed to abrasion, mechanical injury by wicket gates and

Las facilidades hidráulicas cambian el patrón natural del flujo y así pueden alterar muchas características de los ecosistemas de aguas abajo. Las plantas hidroeléctricas pequeñas o de baja caída, sin embargo, producen impactos menores que los observados bajo los reservorios de gran almacenamiento.

Bajo condiciones naturales, los flujos altos ocurren cuando la nieve se derrite o durante períodos de mucha precipitación, con frecuencia en la primavera o el otoño. Las contenciones del acopio eliminan o reducen grandemente los flujos de inundación, no sólo inmediatamente debajo de los diques, sino con frecuencia por grandes distancias aguas abajo. El flujo y la temperatura estables eliminan los indicadores que estimulan la migración o reproducción de algunos organismos bénticos y peces.<sup>1</sup> La generación de energía introduce variaciones del flujo a corto plazo, de acuerdo con la demanda de electricidad. Cuando la generación de energía arranca o para, los flujos de la corriente pueden aumentar o disminuir en muchas formas. Estas variaciones pueden ser destructivas a los organismos bénticos y causar considerable reducción en su diversidad.<sup>2 3</sup>

Por debajo de los diques pequeños/de baja caída, ambos impactos presentados más arriba tienen menos posibilidades de estar presentes. Durante los flujos de la inundación, los diques se abren por lo general para permitir máxima descarga. A menudo las aguas de la inundación fluyen sobre la cresta de la represa, las aguas de salida suben, y la generación de energía se hace imposible. A lo peor, los diques de baja caída pueden disminuir un tanto la intensidad de los flujos de inundación. En los reservorios donde se acopie el agua, la generación causará variación en el flujo aguas abajo, pero las variaciones del flujo y el consecuente impacto ecológico serían menos significativos que para las grandes contenciones. Muchas plantas hidroeléctricas de baja caída operarán aprovechando la corriente del río y el impacto debido a la variación del flujo será prácticamente nulo.

La descarga de aguas profundas pueden tener temperatura más baja y más constante, menos oxígeno disuelto, más altas concentraciones de nutrientes para las plantas y otros elementos sólidos disueltos, y gases disueltos incluyendo sulfito de hidrógeno. Cada uno de estos factores pueden afectar a los organismos de aguas abajo y las diversas combinaciones de factores pueden producir muchos patrones ecológicos diferentes más abajo de las contenciones. Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto pueden reducir peligrosamente las poblaciones de peces y bentos, particularmente las

turbine blades, negative pressures, and areas of cavitation. Clearly, larger organisms face the greater risks. Planktonic organisms, including fish eggs and larvae, can probably escape injury for the most part. However, fry, fingerlings, and larger fish are subject to both mechanical and pressure-caused injuries. Mechanical injuries can range from slight nicks on the body to complete decapitation. Pressure-caused injuries include internal hemorrhages, protruding eyes and deflated air bladders.

Mortality of fish passing through turbines apparently depends on several variables. For instance, turbines operating at peak efficiency produce less mortality due to the greater evenness of water flow and better alignment of wicket gates and runner blades. Axial flow turbines, which will probably be more common in small installations, typically have fewer blades and operate at slower speeds than Francis turbines. Because of these factors, axial flow turbines produce lower fish mortalities, especially with very low heads.<sup>4</sup> Another factor is tailwater elevation; low tailwater elevation (e.g., at turbine centerline elevation) favors cavitation and causes higher fish mortality.

In summary, low-head hydro facilities at existing dams have a potential for adverse impact on fisheries where large fish migrate downstream. However, due to the lower velocities, slower operating speeds, and lower pressures, small/low-head hydro facilities should cause substantially less impact than high-head facilities. For fish that are small in relation to the size of turbine blades, fish mortality should be relatively minor. Operating procedures for lessening the impact to larger fish include determining the times of peak migration activity and then either operating turbines at peak efficiency or halting turbine operation. Fish bypass systems may also be used to mitigate impacts to migrating fish, but economics could constrain the use of these systems.

**Terrestrial ecology.** Most small hydro projects tend to have only minor effects on terrestrial ecology. Terrestrial systems can be disturbed by construction of the plant and power lines and by changes in hydrology.

Agriculture and forestry may be affected through inundation. The amount of land inundated will depend on the topography. On the basis of information provided to the U.S. Depart-

especies exclusivamente de ríos de agua dulce. La constancia térmica puede ocasionar baja densidad de los bentos.

Si el oxígeno disuelto no produce limitaciones, las aguas de salida pueden resultar muy productivas. Sin embargo, con frecuencia la baja disolución del oxígeno y las altas concentraciones de nutrientes para las plantas se combinan produciendo una zona de baja diversidad biológica y una calidad de agua de marginal a pobre. El sulfito de hidrógeno se forma sólo bajo condiciones completamente anaeróbicas, pero es tóxico para los peces a concentraciones relativamente bajas.

Los problemas de salida hipolimnética deben ser menos comunes y menos severos en las contenciones de baja caída que en las de alta caída. La estratificación de un reservorio no muy profundo se puede perturbar con mayor facilidad. Los problemas con las descargas de salida profunda se pueden evitar con frecuencia o se los puede mitigar. Si se anticipan problemas, se pueden diseñar salidas permitiendo retiro selectivo, aunque este procedimiento es a menudo costoso.

La operación de turbinas, particularmente en diques, pueden causar impactos adversos a organismos que pasen a través de las turbinas, especialmente a peces que vayan migrando aguas abajo. Los problemas que se pueden confrontar en las facilidades pequeñas de baja caída, son substancialmente menos severos que los problemas de grandes plantas hidráulicas. El paso a través de las turbinas expone a los organismos a presión anormal, turbulencia y fuerzas mecánicas. Los organismos pueden estar expuestos a fricción, daños mecánicos por las compuertas de mariposa y las aspas de la turbina, presiones negativas, y áreas de cavitación. Es obvio que los organismos de mayor tamaño confrontan los peligros mayores. En su mayor parte los organismos planktónicos, incluyendo los huevos de peces y larvas, probablemente pueden escapar los daños. No obstante, los peces en sus primeros años de vida y los peces mayores corren riesgos de daños tanto mecánicos como los producidos por la presión. Los daños mecánicos pueden variar de pequeñas rajaduras en el cuerpo a decapitación total. Los daños ocurridos por causa de la presión incluyen hemorragias internas, ojos protuberantes y vejigas de aire desinfladas.

La mortalidad de los peces que pasan a través de las turbinas aparentemente depende de diversas variables. Por ejemplo, las turbinas que operen a su máxima eficiencia producen menos mortalidad debido a la mayor uniformidad del flujo del agua y mejor

ment of Energy in proposals for low-head feasibility studies, the ratio of area to power potential ranged from 11 acres/MW to 1800 acres/MW with a mean of 544 acres/MW.

Because of the low power output of small hydro projects, power lines are typically 15 kV or less and can be mounted on single poles. These can be placed, in most cases, along existing roads with minimal disturbance of vegetation. Overland routing through woodlands would require the clearance of a corridor with a width of 30 m (100 ft) or less.

Any major change in the pattern of reservoir filling and discharge can affect shoreline vegetation. Storage may be further restricted by requirements that downstream flow be maintained. Run-of-river operation causes no changes in terrestrial ecology.

Storage to meet daily peaking requirements can result in a diurnal fluctuation of a few feet. This is accomplished by raising the maximum water level or by lowering the minimum level. The former strategy diminishes terrestrial habitats and the latter, diminishes aquatic habitats. Either procedure increases erosion of unprotected shores, thus contributing to the formation of a bare, mud shoreline. If the shore is protected by riprapping, the impact on terrestrial vegetation would be proportional to the additional area which would require such protection.

Storage will flood terrestrial vegetation only when it is performed by raising the level of the reservoir over prehydroelectric levels during periods when the reservoir is near its maximum capacity. Effects would be most likely to occur on those reservoirs that undergo little annual fluctuation. The effects of flooding on plants primarily result from the creation of an anoxic environment in the root zone. Only the lightest (sandy) soils could become aerated in half a day.

Soil saturation results in reduction or cessation of root growth and root function in tolerant or semitolerant species and in root death in intolerant species. Flooding is most damaging if it occurs during the growing season. While flooding will typically result in a shift in plant species composition to tolerant species, some less tolerant trees may adapt by developing shallow, "disk" root systems.

Shoreline aquatic and semiaquatic vascular plants (hydrophytes) are also potentially affected by hydroelectric operations. Because of water

alineación de las copuertas de mariposa y las aspas del rotor. Las turbinas de flujo axial, que probablemente serán las más comunes en las instalaciones pequeñas, típicamente tienen menor número de paletas y operan a menor velocidad que las turbinas Francis. Por causa de estos factores, las turbinas de flujo axial producen menor mortalidad en los peces, especialmente con caídas muy bajas.<sup>4</sup> Otro factor es la elevación de las aguas de salida: las aguas de salida de baja elevación (e.g. en turbinas con elevación a la línea central favorecen la cavitación y causan más alta mortalidad de los peces.

En síntesis, las facilidades hidráulicas de baja caída en los diques existentes potencialmente pueden tener impactos adversos para la población de peces cuando los peces grandes migren aguas abajo. No obstante, debido a las velocidades más bajas, menor velocidad de operación y menos presión, las facilidades hidráulicas pequeñas de baja caída causarían substancialmente menos impacto que las facilidades de alta caída. Para los peces que son pequeños en relación al tamaño de las aspas de la turbina, la mortalidad de los peces sería relativamente menor. Los procedimientos que disminuirían el impacto a los peces más grandes incluyen la determinación de tiempos de alta actividad migratoria y durante ese tiempo asegurar que las turbinas estén trabajando a su más alta eficiencia o *que se pare la operación de la turbina*. Se pueden también usar sistemas de desvío para mitigar los impactos a los peces migratorios, pero la economía constriñe el uso de dichos sistemas.

**Ecología Terrestre.** La mayoría de los pequeños proyectos hidroeléctricos tienden a ejercer efectos insignificantes sobre la ecología terrestre. Los sistemas terrestres pueden ser perturbados por la construcción de la planta y las líneas de transmisión y por cambios en la hidrología.

La agricultura y la selvicultura tienen altas posibilidades de ser afectadas por la inundación. La cantidad de terreno inundado dependerá de la topografía. En base a la información suministrada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos en propuestas para estudios de factibilidad de baja caída, la proporción del área al potencial de energía varía de 11 acres/MW a 1800 acres/MW con una mediana de 544 acres por MW.

Por causa de la cantidad de energía producida por estos proyectos hidroeléctricos, las líneas de transmisión típicamente son de 15 kV o menos y se las puede montar en postes sencillos. En la mayoría de los casos, se los puede colocar a lo largo de los caminos existentes con mínima perturbación de la

level fluctuation and associated shoreline erosion and siltation, hydroelectric reservoirs generally support poor hydrophytic floras as compared to natural lakes. The magnitude of the effect of pondage on hydrophytes would depend largely on the amplitude of the fluctuation.

If the project includes an increase in the static head of the reservoir, terrestrial communities will be inundated. Upstream extension of a reservoir would inundate riparian communities. Lateral extension of the reservoir will simply result in upslope displacement of the existing shoreline ecology.

## Framework for Analysis

A series of linkages may be established which tie together the cause and impact(s) of environmental events associated with small hydropower development. These linkages may be used to understand first order (direct) and higher order (indirect) impacts. The advantage of this approach is that relationships can be more easily understood and explained. For analytical purposes, these linkages may be constructed into matrices, hierarchical and "spaghetti diagrams," to mention a few. The terms which link or connect these environmental relationships are cause, changed conditions, effect and impact.

### Cause

This term describes the event which drives or forces the eventual impact(s). For first order impacts, the cause is always physical. The cause may be discrete or a one-time-only event such as a dam failure; it may be discontinuous or periodic such as flooding; or it may be continuous such as a high discharge force driving dissolved gases into the receiving waters.

### Changed Condition

This event describes the physical changed condition as a result of the cause. The changed condition may be the result of more than one cause; a more complex situation. This condition may be an immediate one, such as a temperature change, one which develops over a period of time or is perhaps an event which would only occur under special circumstances, such as seasonal characteristics of solar incidence, precipitation or temperature.

### Effect

This term refers to the consequence of the changed condition and usually, though not

vegetación. El establecimiento de una ruta aérea a través de la selva requerirá la limpieza de un corredor aproximadamente de 30 metros de ancho (100 pies).

Cualquier cambio mayor en el patrón de la carga y descarga del reservorio puede afectar la vegetación de la costa. El almacenaje podría ser restringido además por requerimientos de que se mantenga el flujo aguas abajo. La operación aprovechando la corriente del río no produce cambios en la ecología terrestre.

El almacenaje para satisfacer las necesidades diarias de alto uso pueden resultar en una fluctuación diaria de algunos pies. Este resultado se consigue aumentando el nivel máximo del agua o disminuyendo el nivel mínimo. La primera estrategia disminuye las viviendas terrestres y la última disminuye las viviendas acuáticas. Ambos procedimientos aumentan la erosión de las costas no protegidas, de tal modo contribuyendo a la formación de costas descubiertas y lodosas. Si la costa está cubierta de pedregullo, el impacto sobre la vegetación terrestre será proporcional al área adicional que requiera tal protección.

El almacenaje inundaría la vegetación terrestre sólo cuando se lo ejecuta levantando el nivel del reservorio por encima de los niveles pre-hidroeléctricos durante los períodos en que el reservorio esté cerca de su capacidad máxima. Existe alta posibilidad de que dichos efectos ocurran en los reservorios que tienen poca fluctuación anual. Los efectos de la inundación sobre las plantas resultan primordialmente como consecuencia de la creación de un ambiente carente de oxígeno en la zona de las raíces. Sólo los terrenos más arenosos pueden ser aireados en medio día.

La saturación del suelo resulta en la reducción o paro en el crecimiento de las raíces en las especies tolerantes y semitolerantes, y en la muerte de las raíces en las especies intolerantes. La inundación es de lo más dañina cuando ocurre durante la estación del crecimiento de la cosecha. Aunque las inundaciones típicamente resultarán en un cambio en la composición de las especies de plantas que incluirán las especies tolerantes, algunos árboles menos tolerantes a veces desarrollan sistemas de raíces superficiales, en forma de "discos."

Las plantas vasculares acuáticas y semiacuáticas (hidrófitas) de las costas, potencialmente son también afectadas por las operaciones hidroeléctricas. Por causa de la fluctuación en el nivel de agua y las asociadas erosiones de las costas y la sedimentación, los reservorios hidroeléctricos generalmente sopor-

always, refers to a living entity as the recipient. As in changed condition, the effect(s) may be due to one or more causes and one or more changed conditions and may likewise occur immediately or gradually or only under certain circumstances.

### **Impact**

This term, in first order impacts, usually refers to what happens to man as a result of the preceding events. That is, it relates the consequences of the effect(s) to man. The impacts also have time and other variables as dependents.

Let's consider an example of a first order impact, the nitrogen super-saturation problem. The cause is the driving of dissolved gases into receiving water by the force of the discharge. The changed condition is an increased concentration of dissolved gases in the water below the dam. The effect is that fish suffer from nitrogen narcosis and die in large numbers. The impacts of this fish mortality may result in an economic loss to commercial fishermen, a recreational loss to sport fisherman and an altered ecosystem.

Let us consider another example, a variation of the first: the problem of sedimentation. The cause is a high discharge velocity. The changed conditions are two: scouring, which also acts as a cause and turbidity. The effect is the deposition of layers of silt downstream, say on the nesting grounds of an important recreational or commercial fish species. The impacts are the same as before.

Let us consider higher order impacts in another example, the environmental impacts of the product: electrical energy. The cause is the availability of electrical energy from a small hydro plant. The changed conditions are many but we will choose only one: the development of a lumber business based on an electricity-consuming saw mill. The effect of the saw mill is a vastly increased rate of deforestation. The impacts of a high rate of deforestation are environmental in the loss of wildlife habitat and increased erosion and they are social and economic in the loss of land and in the vegetation with potential for silvicultural and/or agricultural development.

Finally, it should be clear that this framework for organizing information may also be used to analyze positive impacts.

### **Scale Factor**

A principal environmental factor of small scale



tan pobres flores hidrófitas en comparación con los lagos naturales. La magnitud del efecto del acopio en las hidrófitas dependería en gran parte de la amplitud de dicha fluctuación.

Si el proyecto incluye un aumento en la caída estática del reservorio, las comunidades terrestres serán inundadas. La extensión de un reservorio aguas arriba inundarían las comunidades riparias. La extensión lateral del reservorio simplemente resultará en un desplazamiento para arriba de la ecología existente en las líneas de la costa.

## Estructura para un Análisis

Se puede establecer una serie de eslabones para relacionar la causa y los impactos de los eventos ambientales asociados con desarrollos de pequeñas plantas de hidroenergía. Se pueden utilizar estos eslabones para comprender los impactos de primer orden (directos) y los de orden más alto (indirectos). La ventaja de este sistema es que las relaciones se pueden comprender y explicar con más facilidad. Para objetivos analíticos, estos eslabones pueden ser construídos en matrices, jerárquicas y diagramas de "espaguetti" para mencionar sólo algunas. Los términos que conectan estas relaciones ambientales son la causa, los cambios de condiciones, el efecto y el impacto.

### Causa

Este término describe el evento que impulsa o fuerza los impactos eventuales. Para los impactos de primer orden, la causa es siempre física. La causa puede ser discreta o un evento que ocurre una sola vez, tal como una falla en el dique; puede ser de origen discontinuo o periódico tal como una inundación, o puede ser continua como una descarga con mucha fuerza que acarrea gases disueltos en las aguas recibidas.

### Cambios de Condiciones

Este evento describe la condición física que usualmente cambia como resultado de la causa. El cambio de las condiciones puede resultar a consecuencia de más de una causa; una situación más compleja. Esta condición puede ser de naturaleza inmediata como un cambio de temperatura, una que se desarrolle durante un período de tiempo o quizá sea un evento que sólo ocurriría bajo circunstancias especiales tales como las características de la estación de incidencia solar, precipitaciones o temperatura.

### Efecto

Este término se refiere a las consecuencias del

hydropower is the small size — less than 1 MW in capacity — of the facility relative to a large hydropower site of, say, 500 MW or 1000 MW capacity. The two principal environmental concerns of a small scale system are qualitative and quantitative in character.

Qualitatively, the problem is site specific. Many sites with potential for small scale development are unique in some other way which may be seriously affected. That is, although the site is small and the facility will be small, the environmental impact of the development may be significant because of the special ecological or other role of the small stream or family of streams or even family of drainage basins. Most of my discussion has focused on qualitative impacts.

The important factors here are 1) *who* renders the judgement of the stream's unique role and 2) upon *what* information was that decision made. Although these factors won't be discussed here, the subjects of who makes environmental decisions and upon what information the decisions are based are important and should be clearly understood in implementing any resource development program.

An example of the qualitative character of small scale development is the small streams in New England (U.S.) that are the spawning grounds for Atlantic salmon. Efforts are currently underway to reestablish that fishery. Since salmon will only spawn in the stream where they were hatched, the environmental quality of these small headwater streams are critical. Development could eliminate a considerable fraction of the salmon population.

In the case of quantitative concerns, the question is one of scope of activity. One might ask, "If the capacity of a 500 MW plant is 500 times greater than that of a 1 MW plant, does it follow that the environmental impacts are also 500 times greater?" On an individual basis, small scale projects may be relatively harmless compared with a large scale project. However, in the case of a program involving 500 sites of, say an average of 1 MW capacity each, the impact could be quite significant. The reason for this is that the impacts of these 500 sites tend to accumulate with other existing conditions to form an impact greater than the sum of its parts. These cumulative impacts are also known as incremental impacts or loss by attrition.

cambio de las condiciones, y usualmente, aunque no siempre, se refiere a una entidad viviente como el que lo recibe. Como en el cambio de las condiciones, el (ios) efecto(s) pueden ser debidos a una o más causas y uno o más cambios en las condiciones y también pueden ocurrir inmediatamente or gradualmente o solo bajo ciertas circunstancias.

## **Impacto**

Este término, en impactos de primer orden, usualmente se refiere a lo que sucede al hombre como resultado de los eventos precedentes. Es decir, relaciona las consecuencias de los efectos al el hombre. Los impactos también tienen como dependientes al tiempo y otras variables.

Consideremos el ejemplo de un impacto de primer orden, el problema de la super-saturación de nitrógeno. La causa es el acarreo de gases disueltos en el agua que se recibe debido a la fuerza de la descarga. El cambio de condiciones consiste en un aumento de la concentración de gases disueltos en el agua por debajo del dique. El efecto es que los peces sufren de narcosis producida por el nitrógeno y mueren en grandes números. Los impactos de esta mortalidad de peces puede resultar en una pérdida económica a los pescadores comerciales, una pérdida de la oportunidad para recreación a los pescadores por deporte, y un cambio en el sistema ecológico.

Consideremos otro ejemplo, una variación del primero, el problema de la sedimentación. La causa es la alta velocidad de la descarga. Los cambios de condiciones son dos: la fricción, que también actúa como causa, y la turbiedad. El efecto es el depósito de capas de sedimento aguas abajo, digamos en las áreas de los nidos de una especie importante de peces recreativos y comerciales. Los impactos son los mismos que se mencionaron anteriormente.

Consideremos los impactos de más alto orden en otro ejemplo, los impactos ambientales de producto: la energía eléctrica. La causa es la disponibilidad de la energía eléctrica proveniente de una pequeña planta hidroeléctrica. Los cambios de las condiciones son muchos, pero vamos a escoger sólo uno, el desarrollo de un depósito de maderas basado en un aserradero que consume electricidad. El efecto del aserradero es el vasto aumento en la deforestación. Los impactos del alto nivel de deforestación son ambientales en cuanto a la pérdida de la vivienda silvestre y el aumento de la erosión, y son sociales y económicos en cuanto a la pérdida de la tierra y la vegetación con potencial para desarrollo de la silvicultura y la agricultura.

The problem is widely recognized, but there are no accepted rules for solving it. The analyst's reaction most often will be simply to point out specifically those alterations which will add to the known accumulated alterations of the past. Usually the project sponsor has no better ground rules than the assessor for deciding "how much is too much" for an ecosystem, and will supply no information on the subject. No solution is offered here because the acceptable limits of cumulative impacts is more a policy matter than a technical one. It is expected, therefore, that the analyst will pass this problem along for resolution unless policy on such matters has been decided in advance for the area and the type of activity in question.

The capacity of natural and human environments to accommodate or absorb change without experiencing conditions of instability and attendant degradation is a significant concern in view of current trends of urban and rural growth and development. The ability of the environment to sustain particular levels of activity may already have been exceeded in some areas and, in others, resource management options are rapidly being foreclosed.

## **Positive Impacts**

Small-scale hydropower is considered to be an environmentally clean technology relative to non-renewable technologies. It has the advantages of large-scale hydro, that is, using a renewable, fuel-less resource and generating no process residuals. It is also touted as being an appropriate technology for small developers with relatively low capital and maintenance costs. It requires very short transmission distances, has decentralized capability and engineering innovation potential. The principal environmental advantage of small-scale hydropower is the relatively small size of the facility and the relatively small scale of any attendant impacts from construction and operation, particularly for sites utilizing run-of-river, diversion, or irrigation drops. In the case of impoundment, there is a mitigating advantage. The potential exists around the reservoir for economic and recreational development.

Generally speaking, hydropower generation does not consume water in any way, so that with the possible exception of very large impoundments, hydropower is not a source of water loss to the system. In fact, hydropower development may be complementary to other water uses such

Finalmente, debe ser claro que esta estructura para organizar la información puede ser utilizada también para analizar los impactos positivos.

## Factor de la Escala

Un factor ambiental principal de las plantas hidroeléctricas de pequeña escala es la medida reducida — menos que 1 MW de capacidad — de la facilidad comparada con un lugar para una gran planta de energía hidroeléctrica, digamos de 500 MW o 1000 MW de capacidad. Las dos áreas principales de preocupación ambiental de un sistema de pequeña escala son de carácter cualitativo y cuantitativo.

Cualitativamente el problema es específico al lugar. Muchos sitios con potencial para el desarrollo en pequeña escala pueden ser únicos de otros modos que podrían tener serios efectos. Esto es, aunque el lugar sea pequeño y la facilidad será pequeña, el impacto ambiental del desarrollo puede ser significativo por causa del papel ecológico especial de una corriente o familia de corrientes y aún hasta una familia de cuencas de drenaje. La mayor parte de mi presentación se enfoca en los impactos cualitativos.

Los factores importantes aquí son: (1) *quién* emite el juicio del papel único de la corriente y (2) en base a *qué* información fué hecha la decisión. Aunque no se ha de tratar sobre dichos factores aquí, los temas referentes a quiénes toman las decisiones ambientales y sobre qué información están basadas, son importantes y se los debe comprender claramente cuando se implemente cualquier programa de desarrollo de recursos.

Un ejemplo de carácter cualitativo del desarrollo en pequeña escala son las pequeñas corrientes en New England (U.S.) que son los nidos donde los salmones del Atlántico depositan sus huevos. Actualmente se están realizando esfuerzos para re-establecer como el salmón sólo deposita huevos en la corriente donde nació, este lugar de cría. La calidad del ambiente de estas corrientes de pequeña caída es crítica. El desarrollo podría eliminar una fracción considerable de la población del salmón.

En el caso de la cuestión cuantitativa, el foco está en la extensión de la actividad. Se podría preguntar "Si la capacidad de una planta de 500 MW es 500 veces más grande que una planta de 1 MW, es lógico que los impactos sobre el ambiente sean también 500 veces mayores?" En base individual, los proyectos de pequeña escala pueden ser relativamente no dañinos cuando se los compare con un proyecto a gran escala. No obstante, en el caso de un programa que involucrara 500 lugares de, digamos, un promedio de 1

as irrigation and water supply. It can provide power for these uses. The capital costs may be also lowered considerably in cases of such integrated development.

In comparing the environmental impacts of small hydropower to small scale conventional technologies, there is, as mentioned above, the absence of process residuals such as waste heat, air emissions, solid, waste and toxic substances. From a regional development standpoint where many small plants are concerned, the aggregate advantage of this may be significant. This is doubly important when considering the environmental impacts of fuel extraction, processing and shipping — events which do not occur for renewable energy technologies.

## Technique

There are several techniques to be employed in conducting environmental assessments. The choice of technique depends on such factors as availability of data, of qualified staff, of funds, of analytical instruments and lab and field equipment, to mention a few. Many studies employ a combination of techniques. The following brief discussion touches on five of these techniques.

### Case Study

This technique is often used when there is a need to generalize about environmental impacts. The generalization may be geographic region specific, such as national, regional, or river basin specific. The generalization may also be specific to certain sizes, i.e., large scale, small scale, or to particular configurations, i.e., impoundment, run-of-river, diversion, etc. The purpose is to acquire information on a particular site and then extrapolate that to all other sites in the same category. The information acquired may come from existing sources or may be collected on-site. In the latter case would be the "before" and "after" studies mentioned earlier in this paper. The monitoring of conditions such as rainfall, runoff, streamflow, sedimentation, endemic plant and animal populations and so on are a part of this process.

### Modeling

Depending on the system parameters to be predicted, various model types can be used. Physical scale models of the aquatic system can be used to determine such factors as flow changes, flooding, drought, etc. Mathematical models are often used with the assistance of a

MW de capacidad cada uno, podría ser significativo. La razón es que los impactos de estos 500 sitios tienden a acumularse con otras condiciones existentes para formar un impacto mayor que la suma de sus partes. Estos impactos cumulativos también son conocidos como impactos incrementarios, o pérdida por atrición.

El problema es ampliamente reconocido, pero no hay reglas aceptadas para resolverlo. La reacción del analista más a menudo será simplemente señalar específicamente las alteraciones que se agregarán a las alteraciones conocidas acumuladas en el pasado. Usualmente, quien es responsable por el proyecto no tiene mejores reglas básicas que las del asesor para decidir "cuánto es demasiado" para un sistema ecológico, y no suministrará información al respecto. No ofrecemos una solución aquí porque límites de los impactos cumulativos es más una cuestión de norma que de naturaleza técnica. En consecuencia, se espera que el analista pasará el problema para su resolución a menos que las normas en tales asuntos hayan sido decididas con antelación para el área y tipo de actividad en cuestión.

La capacidad de los ambientes natural y humano para acomodar y absorber cambios sin experimentar condiciones de inestabilidad y la degradación ocasionada en consecuencia es una preocupación significativa en vista de las tendencias actuales del crecimiento y desarrollo urbano y rural. La capacidad del ambiente para sostener niveles particulares de actividad puede haber excedido ya en algunas áreas, y en otras, las opciones para la administración de recursos están siendo rápidamente agotadas.

### **Impactos Positivos**

La hidroelectricidad en pequeña escala es considerada como tecnología ambientalmente limpia comparada con las tecnologías no renovables. Tiene las ventajas de la hidroelectricidad a gran escala, es decir, que utiliza una fuente renovable, no combustible y genera energía sin residuos en el proceso. Se le hace la propaganda de que es una tecnología apropiada para los que están envueltos en desarrollo pequeño con relativamente bajo capital y costo mantenimiento. Requiere muy cortas distancias de transmisión, tiene capacidad descentralizada y potencial de innovación en su ingeniería. La ventaja ambiental principal de la hidroelectricidad en pequeña escala es el tamaño relativamente reducido de la facilidad y la relativamente pequeña escala de los impactos relacionados con ella tales como la construcción y operación, particularmente para los

computer to make predictions using one equation or a system of equations. Mathematical models simulate water quality, hydraulics, sedimentation, ecosystems and so on. Having both accurate, tested models available and ample data for model use, useful results may be obtained.

If models must first be constructed, they are seldom any better than the data that went into developing the model. Consequently, a rather extensive effort must be put forth collecting data through field trips and lab experiments to develop the system equations and accurate factors. Additional time must then be spent verifying the model. This can be an expensive and time consuming process. Care must also be exercised with the model if a) it has not been tested, verified and has a good use record; b) there is no certainty whether or not the use of a model is the correct approach; or c) it is not clear that the model to be used is the appropriate one for the purpose.

### **Field Survey**

The technique is a commonly used one. The extent of the survey is the variable. Surveys range from a quick overview of the particular site in a matter of hours to an indepth data collection and monitoring of the living and non-living environment for a period of weeks, months or even years. Field work, ideally, should be supplemented with maps and historical information on climate, water resources, biota, soils, etc. Equipment needs may range from off-road vehicles to aircraft to boats to analytical instruments for field and laboratory use. Generally a field survey involves a team of experts from various disciplines, although some are done by an engineer or a biologist, each of whom may be familiar with many of the disciplines involved, as well as his/her own specialty.

### **Description**

This technique involves, ideally, a multi-discipline approach in which impacts are not quantified unless based on a review of existing literature, but rather are described in narrative fashion. The thrust of this approach is based on a mix of the author(s) own knowledge and a review of existing literature.

### **Delphi**

This technique may be used when time is very short and existent information on the site(s) is

lugares que utilicen la corriente del río, la desviación o caídas de una irrigación. En el caso de la contención, hay una ventaja mitigante. Existe potencial al rededor del reservorio para desarrollo económico y recreativo.

Hablando generalmente, la generación de la hidroenergía no consume agua alguna, de modo que, con la posible excepción de una contención de mayor tamaño, la hidroelectricidad no es una fuente de pérdida del agua para el sistema. El desarrollo de energía hidroeléctrica podría ser complementario a otros usos del agua tales como la irrigación y el suministro de agua potable. Puede proveer energía para dichos usos. Los costos del capital pueden también reducirse considerablemente en los casos en que el desarrollo se realice en forma integrada.

Si se estudia comparativamente los impactos ambientales de la hidroenergía pequeña con las tecnologías con convencionales de pequeña escala, se nota, como ya mencionamos anteriormente la ausencia de residuos del proceso tales como desperdicio de calor, emisiones de aire, substancias de desperdicio sólidas o tóxicas. Desde el punto de vista del desarrollo regional, donde se estudia la instalación de varias plantas pequeñas, la ventaja agregada puede ser significativa. Esto es doblemente importante cuando se tome en cuenta los impactos ambientales de la extracción de petróleo, procesamiento y embarque — cosas que no ocurren con las tecnologías de la energía renovable.

## Técnica

Hay varias técnicas que se emplean al conducir asesoramientos ambientales. La selección de la técnica depende de factores tales como la información disponible, personal calificado, disponibilidad de fondos, de instrumentos analíticos, de equipos del campo y laboratorio, para mencionar sólo algunos. Muchos estudios emplean una combinación de técnicas. La presentación que viene a continuación brevemente se refiere a cinco de estas técnicas.

### Estudio de Caso

Esta técnica se usa a menudo cuando hay necesidad de generalizar acerca de los impactos ambientales. La generalización puede ser geográfica de región específica tales como nacional, regional, o específica a la cuenca del río. La generalización puede también ser específica a ciertas medidas, i.e., gran escala, pequeña escala, o a una configuración particular i.e., contención, corriente del río, desviación, etc. El propósito es el de adquirir información sobre un lugar en particular y luego

not available. This involves assembling a team of experts, who may or may not have seen the site or sites and extracting the environmental impacts via an intensive group work period. This session may last a few hours, a day or a week and may be recorded on tape, through the use of a "rapporteur" or through written responses from the participants. The process involves having the assembled group address the impacts with respect to their professional judgement and then polling them to arrive at a consensus. The keys to this process are a good discussion format and a dynamic moderator or facilitator.

## Study References

There are a number of U.S. institutes and organizations involved in examining the environmental impacts of hydropower. The following discussion presents a brief overview of some of these activities.

- *U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Ft. Belvoir, Virginia*

A three-year \$7 million study is examining the feasibility and potential of expanded hydropower in the U.S. through the development of an inventory, assessment of energy needs and the execution of a series of policy and technical overview studies. One of these studies consists of an in-depth assessment of the environmental impacts of hydropower, a comparison of impacts between hydropower and other energy technologies and between various hydropower configurations, and an analysis of environmental policy issues.

- *U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee*

An environmental assessment has been prepared of the Department's Small Hydropower Development Program and special research studies are underway to develop new information concerning specific problem areas. The objective is to develop information to support the Department's program of demonstrations as well as to test theories and investigate new problem areas that may arise through the Department's Office of Permits, the U.S. Federal Energy Regulatory Commission (FERC).

- *New England River Basins Commission, Boston, Massachusetts*

A study of the feasibility of hydropower development in the New England states has

extrapolar a todos los otros sitios que estén en la misma categoría. La información adquirida puede provenir de fuentes existentes o se la puede coleccionar en el lugar. En el último caso sería los estudios de "antes" y "después" que se mencionara anteriormente. La observación de las condiciones tales como la caída de las lluvias, aguas que corren en la superficie, flujo de la corriente, sedimentación, poblaciones endémicas de plantas y animales, etc. son parte de este proceso.

### **Modelos**

Dependiendo de los parámetros del sistema que se vaya a pronosticar, se podrán usar diversos tipos de modelo. Se pueden usar modelos físicos a escala de los sistemas acuáticos para determinar factores tales como los cambios de flujo, inundación, o sequía, etc. A menudo se usan modelos matemáticos que con la asistencia de una computadora hacen predicciones mediante el uso de una ecuación o un sistema de ecuaciones. Los modelos matemáticos simulan la calidad del agua, la hidráulica, sedimentación, sistemas ecológicos, etc. Se pueden obtener resultados útiles cuando se desarrollen modelos precisos, comprobados, con suficiente información para uso en el modelo.

Si se deben construir los modelos primeramente, ellos serán tan buenos como la información que se utilizó en el desarrollo del modelo. En consecuencia, se debe invertir un esfuerzo extenso en la colección de la información en los estudios en el campo, experimentos de laboratorio, etc. para desarrollar ecuaciones y factores precisos para el sistema. Se deberá dedicar tiempo adicional a la verificación del modelo. Esto se puede convertir en un proceso costoso y que tome mucho tiempo. También se ha de tener mucho cuidado con el modelo si (a) no se lo comprobado, ni verificado ni se haya hecho buen uso de la información, (b) no se tiene certeza de que el modelo sea la dirección correcta a seguir, o (c) no es claro que el modelo que se vaya a utilizar sea el adecuado para los fines que se proponen.

### **Encuesta del Campo**

La técnica es usada comunmente. La extensión de la encuesta es la variable. Las encuestas pueden variar desde una rápida inspección del lugar en cuestión de horas, a un minuciosa colección de información y observación del ambiente vivo e inerte, por un período de semanas, meses o inclusive, años. El trabajo del campo idealmente debe ser suplementado con mapas e información histórica sobre el clima, recursos acuáticos, vida de animales y plantas, suelo,

recently been completed. Of particular emphasis are small scale sites already in existence. An environmental assessment was performed.

- *World Bank, Washington, D.C.*

The Office of Environmental Advisor conducts environmental assessments of every bank loan, some of which include site visits. The office has information on procedures and checklists.

- *Inter-American Development Bank, Washington, D.C.*

The Project Analysis Department is in the process of preparing guidelines for loan applications concerned with environmental management projects. Environmental checklists were used in the preparing of these guidelines. The guidelines should be available soon through Bank field offices.

- *Council on Environmental Quality, Washington, D.C.*

The Council is the official repository for all Environmental Impact Statements (EIS's) prepared in the U.S. The Council is also responsible for the guidelines to follow in preparing an EIS.



etc. La necesidad de equipos puede variar de vehículos para fuera de los caminos, a naves aéreas, a botes, a instrumentos analíticos para uso en el campo y el laboratorio. Generalmente, una encuesta del campo implica un equipo de expertos, de varias disciplinas, aunque algunas son realizadas por un ingeniero o un biólogo, cada uno de los cuales puede estar familiarizado con muchas de las disciplinas relacionadas, además de la de su propia especialidad.

### **Descripción**

Esta técnica envuelve idealmente el aporte de múltiples disciplinas en la cual no se cuantifican los impactos a menos que estén basados en una revisión de la literatura existente, sino que, más bien se describen en forma narrativa. El impulso de esta técnica está basado en una mezcla de los conocimientos del (los) autor(es) y una revisión de la literatura existente.

### **Delphi**

Esta técnica puede utilizarse cuando hay muy corto tiempo y no hay información sobre el lugar. Esto implica agrupar un equipo de expertos que pueden o no haber visto el lugar o los lugares y extraer los impactos ambientales por medio de un período intenso de trabajo de grupo. Esta sesión puede durar algunas pocas horas, un día o una semana y se la puede grabar en cinta magnética, mediante el uso de un rapporteur o mediante respuestas escritas por los participantes. El proceso consiste en que el grupo reunido estudie los impactos con respecto a su juicio profesional y luego hacer un escrutinio para llegar a un consenso. Las claves de este proceso son un buen formato para la discusión y un moderador o facilitador dinámico.

### **Referencias del Estudio**

Hay una variedad de institutos y organizaciones en los Estados Unidos que examinan los impactos ambientales de la energía hidroeléctrica. A continuación se presenta una breve descripción de algunas de dichas actividades.

- *Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, Instituto de Recursos Acuáticos, Ft. Belvoir, Va.*

Un estudio de tres años con un presupuesto de \$7 millones para examinar la factibilidad y el potencial de la expansión de la hidroelectricidad en los Estados Unidos mediante el desarrollo de un inventario, asesoramiento de las necesidades energéticas y la ejecución de una serie de estudios de norma y revisión técnica. Uno de dichos

estudios consiste en un asesoramiento a fondo de los impactos ambientales de la hidroenergía, una comparación de los impactos de la hidroenergía y otras tecnologías energéticas y diversas configuraciones de hidroenergía, y un análisis de los temas relativos a normas ambientales.

- *Departamento de Energía de los Estados Unidos, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee*

Se ha preparado un asesoramiento ambiental del Programa de Desarrollo de Pequeñas Plantas Hidroeléctricas del Departamento y los estudios especiales de investigación están en camino para desarrollar nueva información concerniente a específicos áreas con problemas. El objetivo es el de desarrollar información que ha de soportar el programa de demostración del Departamento así como comprobar las teorías e investigar nuevas áreas con problemas que puedan aparecer a través de la Oficina de Permisos del Departamento, la Comisión Federal Regulatoria de Energía de los EE. UU. (FERC).

- *Comisión de las Cuencas de los Ríos de New England, Boston, Massachusetts*

Recientemente se ha completado un estudio sobre la factibilidad del desarrollo de la hidroelectricidad en los estados de New England. Son de énfasis particular los lugares para pequeñas plantas que ya están en existencia. Se realizó un asesoramiento ambiental.

- *Banco Mundial, Washington, D.C.*

La Oficina del Consultante Ambiental conduce asesoramientos ambientales procediendo cada préstamo bancario, algunos de los cuales incluyen visitas a los lugares. La oficina tiene información sobre los procedimientos y listas de verificación.


- *Banco Inter-Americano de Desarrollo Washington, D.C.*

El Departamento de Análisis de Proyectos está en proceso de preparar guías para las solicitudes de préstamos concernientes a proyectos de administración ambiental. Se usaron listas de verificación ambiental en la preparación de estas guías. Dichas guías (instrucciones) estarán disponibles pronto por intermedio de las oficinas del Banco en el campo.



• *Concejo sobre Calidad del Ambiente, Washington, D.C.*

El Concejo es el repositorio oficial de todas las Declaraciones de Impacto Ambiental (EIS) preparadas en los Estados Unidos. El Concejo es también responsable por las guías que se deben seguir en la preparación de dichas declaraciones.



1. H.B.N. Hynes, *The Ecology of Running Waters*, University of Toronto Press, 1970.
2. S.G. Fisher and A. La Voy, *Differences in Littoral Fauna Due to Fluctuating Water Levels Below a Hydroelectric Dam*, J. Fish Res. Board Can. 29: 1472-1476 (1973)
3. H.M. Trotzky and R.W. Gregory, *The Effects of Water Flow Manipulation Below the Hydroelectric Power Dam on the Bottom Fauna of the Upper Kennebec River, Maine*, Trans. Am. Fish Soc. 103(2): 318-324 (1974)
4. F.K. Cramer and R.C. Oligher, *Passing Fish Through Hydraulic Turbines*, Trans. Amer. Fish Soc. 99(3): 243-250 (1964)

# Metodologías Para Estudios de Factibilidad Económica y Financiera

David C. Auslam, Jr. y Mark I. Henwood

---

Mark I. Henwood presenta un estudio sucinto del papel que los análisis económico y financiero pueden tener en una pequeña central de hidroelectricidad. Diferencia él los elementos del análisis para este tipo de proyecto y desarrollo dos ejemplos.

---

## Introducción

En todos los sectores de consumo de energía — desde gobiernos nacionales y corporaciones multinacionales hasta las más pequeñas empresas — se está enfocando gran énfasis en las fuentes de recurso de energía con una característica de costo estable por tiempo prolongado. El impulso primordial es el de obtener energía sin el escalamiento inexorable que se anticipa en los combustibles a base de petróleo. Las fuentes que se pueden renovar son consideradas frecuentemente como fuentes de energía que no están sujetas a constante subida del costo. De las fuentes de energía renovables, la caída del agua, o hidroenergía, es ciertamente una de las tecnologías más promisoras que está disponible de inmediato. Los proyectos hidro utilizan una tecnología establecida desde mucho tiempo atrás y la disponibilidad de lugares donde se puede utilizar la energía hidráulica es excelente en muchos sitios de la América Latina.

El foco de este artículo es el de estudiar procedimientos básicos para el análisis económico y financiero de proyectos hidroeléctricos pequeños para la electrificación rural descentralizada en la América Latina. Estos procedimientos son importantes en la formulación de proyectos y en la justificación de los mismos ante agencias potencialmente financiadoras.

Probablemente la característica económica más importante de los proyectos hidro es la relativa ausencia de escalación en el costo total de la generación de energía. Una vez que se haya realizado la inversión inicial y se hayan formulado provisiones para el reembolso, los proyectos hidroeléctricos representan una fuente de energía cuyo costo disminuye en términos reales. Al presente no hay otra fuente significativa para la generación de energía que ofrezca la misma seguridad de costo estable que ofrece la energía hidráulica. Este hecho, en conjunción con la

# Economic and Financial Feasibility Study Methodologies

David C. Auslam, Jr. and Mark I. Henwood

---

Mark I. Henwood presents a succinct overview of the role economic and financial analyses can have in a small hydro project. He differentiates the analysis elements involved in this type of project and developed two examples.

---

## Introduction

In all sectors of energy consumption -- from national governments and multinational corporations, to the smallest of enterprises -- great emphasis is being placed on energy resources with stable cost patterns over time. The primary thrust is to obtain energy without the relentless escalation expected in petroleum-based fuels. Renewable resources are frequently looked to as energy sources not subject to continual cost escalation. Of the renewable energy sources, falling water, or hydropower, is certainly one of the most promising technologies that is immediately available. Hydro projects use long established technology and the availability of hydroelectric sites is excellent in many parts of Latin America.

The focus of this paper is to discuss basic procedures for the economic and financial analysis of small hydroelectric projects for decentralized rural electrification in Latin America. These procedures are important in formulating projects and in justifying projects to potential lending agencies.

Probably the most important single economic characteristic of hydro projects is the relative absence of escalation in the total cost of power generation. Once the initial investment is made and financial provisions are arranged for repayment, hydroelectric projects represent a source of power whose cost decreases in real terms. No other currently significant source of power generation offers the same stable cost pattern as hydropower. This fact, coupled with relative resource availability, has created the great worldwide interest in hydropower. Along with the other factors discussed above, small scale

relativa disponibilidad, ha creado el gran interés mundial en la energía hidroeléctrica. Conjuntamente con los otros factores antes mencionados, los proyectos de hidroenergía de pequeña escala constituyen ciertamente una tecnología apropiada para la electrificación rural de la América Latina.

## **Análisis Económico y Financiero del Proyecto**

Hay muchos procedimientos diferentes en uso en todo el mundo para el análisis económico de los proyectos. El impulso primordial de todos los procedimientos económicos es que el análisis de un proyecto singular ha de establecer cuantitativamente si el proyecto ha de dejar al auspiciador en una posición económica mejor o peor dado el costo básico de los fondos y las suposiciones relativas. Hay un procedimiento analítico para establecer la viabilidad económica y financiera de un sólo proyecto. El procedimiento se ejecuta en seis pasos básicos: (1) establecimiento de las suposiciones concernientes al costo de los fondos, escalación y otras variables; (2) establecimiento de los beneficios del proyecto; (3) establecimiento de los costos del proyecto; (4) ejecución de la evaluación económica; (5) ejecución de un análisis de sensibilidad; y (6) establecimiento de la viabilidad financiera. Cada uno de estos pasos será cubierto más abajo con detalles matemáticos. Esta presentación trae a foco un ejemplo relativo a un proyecto micro hidroeléctrico descentralizado que hipotéticamente podría estar en América Latina.

### **Suposiciones Básicas**

Ciertas suposiciones básicas comunes al análisis de la mayoría de los proyectos deben ser establecidas antes de coleccionar datos y poder realizar computaciones. El primer punto básico es la determinación del tipo de análisis a realizarse. Dicho tipo puede variar desde justificación del proyecto donde se determine si la ejecución del proyecto es deseable o no hasta la comparación de alternativas para seleccionar la mejor de diversas opciones, al análisis de incremento en cuyo caso un proyecto se estudia detalladamente en función al tamaño, a la composición del material u otra variable de importancia. El tipo de análisis que se conduzca tiene gran impacto en los detalles necesarios y los cálculos realizados.

Otra variante mayor es el tipo de descuento que se use en los cálculos del valor actual. La magnitud del tipo de descuento afecta directa y significativamente los resultados del análisis económico y es importante escoger un tipo de descuento apropiado. En general, los economistas relacionan los tipos de descuentos al

hydropower projects are certainly an appropriate technology of rural electrification in Latin America.

## **Project Economic and Financial Analysis**

Many different procedures are in world wide use for economic analysis of projects. The primary thrust of all economic procedures for single project analysis is to quantitatively establish whether the project would leave the sponsor in an improved or a worsened economic position given their basic cost of money and related assumptions. There is an analytical procedure for establishing the economic and financial viability of a single project. The procedure is executed in six basic steps: (1) establishing basic assumptions concerning the cost of money, escalation, and other variables; (2) establishing project benefits; (3) establishing project costs; (4) performing the economic evaluation; (5) performing sensitivity analysis; and (6) establishing financial viability. Each of these steps will be discussed below with mathematical detail presented. This discussion is highlighted by an example geared to a decentralized micro hydro project in Latin America.

### **Basic Assumptions**

Certain basic assumptions common to most project analyses must be set before data collection and computations can be carried out. The first issue is the type of analysis to be carried out. The type of analysis can range from: project justification where the desirability or undesirability of the project is determined; to comparison of alternatives where the best of several alternatives is selected; to incremental analysis where a project is "fine tuned" in size, material composition, or some other important variable. The type of analysis being conducted has a large impact on the data needs and calculations performed.

Another major variable is the discount rate for use in present value calculations. The magnitude of the discount rate directly and significantly affects the results of economic analysis and it is important to choose an appropriate rate. Economists, in general, relate discount rates to the opportunity cost of the use of money in methods other than the one contemplated. Frequently, this is the cost of borrowing or the weighted cost of capital through both debt and equity sources. In small hydro projects in Latin

costo de la oportunidad para utilizar el dinero en métodos diferentes al que se contempla. Frecuentemente, esto consiste en el costo de efectuar préstamos o el costo sopesado del capital mediante las fuentes tanto de deudas como de equidad. En el caso de los pequeños proyectos hidroeléctricos en la América Latina, el tipo de descuento por lo general será establecido al costo del Banco Mundial u otra organización financiera internacional o serán los tipos de descuento standard utilizados por los gobiernos auspiciadores.

El período de tiempo cubierto por el análisis es otro parámetro clave en la ejecución del análisis económico y financiero. Para el análisis financiero, el período del análisis es generalmente el período de la financiación. Consecuentemente, los préstamos son amortizados y se considera el flujo de efectivos durante el período de financiación. A veces se utiliza la duración útil del proyecto para los calculos del análisis económico. Se considera que la duración útil de los proyectos hidráulicos es de 50 años por lo menos y en algunos países, hasta de 100 años.

También son consideraciones importantes el tratamiento de la inflación y la escalación real. Inflación es el porcentaje de aumento en general de los niveles de precios. El porcentaje de la escalación real es el porcentaje de aumento anual en un costo y es independiente de, y adicional a la inflación. La escalación real resulta como consecuencia del agotamiento de la fuente de recursos, aumentos de la demanda con abastecimiento limitado, y otros factores.

El porcentaje de escalación aparente es el porcentaje anual total de aumento en el costo. Incluidos en el porcentaje de escalación aparente están los efectos de la inflación y de la escalación real. El porcentaje de la escalación aparente está descrita en la ecuación siguiente:

$$(1 + e) = (1 + e_r) \times (1 + i)$$

e = porcentaje de escalación aparente

$e_r$  = porcentaje de escalación real

i = porcentaje de inflación

El análisis económico debe dar cuenta de la escalación real cuando sea aplicable. Los precios de energía alterna, particularmente de los combustibles derivados del petróleo constituyen un área donde los analistas frecuentemente calculan la escalación real. Se debe notar que la magnitud de la escalación real es difícil de establecer, como lo es el porcentaje apropiado de inflación que utilizar. En este sentido,

America, the discount rate generally will be set at the cost of the World Bank or other international financing institutions or will be standard rates used by sponsoring governments.

The length of analysis is another key parameter in performing economic and financial analysis. For financial analysis, the period of analysis is generally the financing period. Consequently, loans are amortized and cash flows are considered over the financing period. For economic analysis, the project's useful life is sometimes used for calculations. For hydro projects, useful life is usually considered to be at least 50 years and, in some countries, up to 100 years.

The treatment of inflation and real escalation also are important considerations. Inflation is the rate of increase in general price levels. The real escalation rate is the annual rate of increase in a cost and is independent of, and in addition to, inflation. Real escalation results from resource depletion, increased demand with limited supply, and other factors.

The apparent escalation rate is the total annual rate of increase in a cost. Included in the apparent escalation rate are the effects of inflation and real escalation. The apparent escalation rate is described by the following equation:

$$(1 + e) = (1 + e_r) \times (1 + i)$$

where:

e = the apparent escalation rate

$e_r$  = the real escalation rate

i = the inflation rate

The economic analysis should account for real escalation when applicable. Alternate energy prices, particularly from petroleum based fuels, are an area where analysts frequently account for real escalation. It should be noted that the magnitude of real escalation is difficult to establish, as is the appropriate inflation rate to use. In this regard, guidelines are usually available from national governments or international financing agencies.

It is important to maintain comparability between assumptions concerning inflation and the discount rate. If an analysis is made where inflation is neglected in future costs and benefits, inflation also should be neglected in the discount rate (which is frequently the cost of money).

In general:

$$(1 + r) = (1 + x) \times (1 + i)$$

usualmente hay guías disponibles de los gobiernos nacionales o agencias financieras internacionales.

Es importante mantener la comparabilidad entre las suposiciones concernientes a los porcentajes de inflación y los de descuento. Si se hace un análisis en el cual se omite la inflación de costos y beneficios futuros, se deberá omitir también la inflación en el porcentaje del descuento (que es frecuentemente el costo del dinero).

En general:

$$(1 + r) = (1 + x) X (1 + i)$$

r = porcentaje del descuento (costo sopesado del capital en presencia de la inflación)

x = costo sopesado del capital en ausencia de la inflación

i = porcentaje de la inflación

Una suposición del 10 por ciento de costo sopesado del capital en un ambiente de 6 por ciento de inflación implica un 3.8 por ciento ( $1.10/1.06 = 1.038$ ) en costo del capital en ausencia de la inflación.

## Beneficios del Proyecto

Los beneficios de la construcción de un proyecto hidroeléctrico pequeño pueden derivarse de numerosas fuentes y abarcan tanto beneficios monetarios como beneficios no pecuniarios. Los ejemplos de los tipos de beneficios incluyen muchas áreas, algunas de las cuales son cubiertas más abajo.

Para poder desarrollar beneficios del proyecto, se necesitará información relativa a la producción de energía desarrollada durante el análisis hidrológico. Este análisis incorpora información relativa a las turbinas y equipos generadores del proyecto juntamente con la hidrología de la cuenca pluviométrica para establecer la capacidad disponible y la producción de la energía anticipada por las opciones del desarrollo en consideración. Con esta información, se podrá establecer los beneficios del proyecto.

Los proyectos que reducen el costo claramente tienen como beneficio la reducción del costo. El costo que se reduce puede ser un costo existente, tal como kerosén para la iluminación y cocina, o un costo futuro tal como el uso del combustible en una irrigación planeada que deba bombear usando la energía producida por un motor diesel. Dicho costo futuro puede ser también una alternativa para el proyecto hidroeléctrico tal como un generador diesel.

Los proyectos que producen ingresos generan fondos por la venta de energía y ésto constituye sus beneficios. Cuando un sistema utilitario establecido esté experimentando expansión y se estén agregando

where:

r = discount rate (weighted cost of capital in the presence of inflation)

x = weighted cost of capital in the absence of inflation

i = inflation rate

An assumption of 10 percent weighted cost of capital in the environment of a 6 percent inflation implies a 3.8 percent ( $1.10/1.06 = 1.038$ ) cost of capital in the absence of inflation.

## Project Benefits

The benefits of constructing a small hydroelectric project can stem from numerous sources and encompass both direct monetary benefits and non-monetary benefits. Examples of the types of benefits include many areas, some of which are discussed below.

In order to develop project benefits, power production information developed during the hydrologic analysis will be necessary. This analysis incorporates information on the project's turbines and generating equipment along with the watershed hydrology to establish the available capacity and the expected energy production for the development options being considered. With this information, project benefits can be established.

Projects which reduce costs have cost reduction as a clear benefit. The cost being reduced can be an existing cost, such as kerosene for lighting and cooking or a contemplated cost such as the fuel usage in a planned irrigation pump powered by a diesel engine. The contemplated cost can also be an alternative to the hydroelectric project such as a diesel generator.

Projects which produce revenue have the funds generated by power sales as benefits. When an established utility system is expanding and projects are being added to meet load growth, project benefits can be established under existing rate schedules. Note that, in many cases, this problem is treated as one of simply choosing the cheapest method of meeting load growth without explicitly considering the project's economic desirability.

The problem of estimating project benefits for a decentralized small hydro project serving a new load is considerably more complicated. Frequently, the benefits of introducing a new electricity supply are approached based on the willingness of purchasers to pay for the power. The will-

proyectos para satisfacer el crecimiento de la carga, los beneficios del proyecto pueden ser establecidos bajo el cuadro de las tarifas existentes. Nótese que en muchos casos, este problema es tratado como una simple selección del método menos costoso de satisfacer el aumento de la carga sin considerar explícitamente que el proyecto sea económicamente deseable.

El problema de estimar los beneficios del proyecto para una planta hidroeléctrica pequeña, descentralizada, que tenga que satisfacer una nueva demanda es considerablemente más complicado. Frecuentemente, los beneficios de la introducción de un nuevo abastecimiento de electricidad se basan en la voluntad de los consumidores de pagar por dicha energía. La voluntad de pagar puede ser calculada en base a los costos alternativos de conseguir la función de la electricidad, el aumento de la productividad derivado de la introducción de maquinarias eléctricas, o el aumento en la calidad de la vida debido a la iluminación, almacenamiento de alimentos refrigerados, etc. Típicamente, estos tipos de beneficios estimados son temas de estudios específicos. También hay beneficios que pueden resultar de manera indirecta. Por ejemplo, si un proyecto hidráulico puede permitir reemplazar la leña como combustible para la cocina, el costo de obtener la leña es beneficio directo. En el caso de muchos países Latino Americanos, muy significativos beneficios indirectos podrían resultar por la reducción del agotamiento de las florestas comerciales y por la reducción de la erosión resultante del corte indiscriminado (lo cual también afecta las cosechas agrícolas).

Se necesita un patrón de beneficios del proyecto a lo largo del tiempo, para el análisis económico del proyecto. El cálculo estimado puede ser un valor inicial simple con escala constante, o podría reflejar una corriente creciente de beneficios debidos al aumento del uso del producto del proyecto a medida que aumenta la demanda. Si la inflación es incluida explícitamente en el análisis, se debe dar cuenta del valor monetario en el año en el cual se declaran tales beneficios.

Para tomar las mejores decisiones económicas, el cálculo estimativo de los beneficios es tan importante como el cálculo del costo. En consecuencia, se debe dedicar suficiente esfuerzo al cálculo de los beneficios de modo que sean comparables la precisión de los cálculos de los beneficios y de los costos. Así se podrá obtener buen entendimiento del valor del producto

ingness to pay may be estimated based on the alternate costs of accomplishing the function electricity will perform, the increased productivity from introducing electric machinery, or the increase in the quality of life due to lighting, refrigerated food storage, etc. Typically, these types of benefit estimates are the subject of specific studies.

Benefits can also result in an indirect fashion. For example, if a hydro project may allow the replacement of wood as a cooking fuel, direct benefits are the cost of obtaining wood. In the case of many Latin American countries, very significant indirect benefits can accrue by reducing the depletion of commercial forests and by reducing erosion resulting from indiscriminate cutting (which also affects agricultural yields).

A pattern of project benefits over time is needed for the project economic analysis. The estimate may be a simple initial value with a constant escalation or it may reflect a growing stream of benefits due to increased usage of a project's output as the load increases. If inflation is explicitly included in the analysis, care must be taken to account for the monetary value in the year in which the benefits are stated.

In terms of making the best economic decisions, benefit estimation is as important as cost estimating. Consequently, sufficient effort should be spent on benefit estimating so the accuracy of benefit and cost estimates is comparable. Doing so will also result in a good understanding of the value of the project's output and will ultimately result in the formulation of better projects.

## Project Costs

Project costs are the time stream of costs required to construct and operate a hydroelectric plant. The annual costs and capital requirements will be developed in the civil, mechanical, and electrical portions of the project studies. These estimates will usually:

1. Be stated in current dollars of the year the study is performed.
2. Provide a capital cost expenditure pattern for each year of construction. This will typically be expressed as percentages of the lump sum cost estimate per year.
3. Indicate whether the costs are subject to escalation.

del proyecto y últimamente resultará en mejores proyectos.

### Costos del Proyecto

Los costos del proyecto son los costos requeridos a través del tiempo para construir y operar una planta hidroeléctrica. Los costos anuales y los requisitos del capital serán desarrollados en las porciones civiles, mecánicas y eléctricas de los estudios del proyecto. Estos cálculos estimativos por lo general han de:

1. Ser declarados en dólares del año en que se realice el estudio.
2. Suministrar un patrón de los gastos del costo de capital para cada año de la construcción. Esto será típicamente expresado como porcentajes del costo total estimado por año.
3. Indicar si los costos están sujetos a escalamiento.
4. Proveer fondos para reparación y repuesto de equipos mayores necesarios para la operación del proyecto durante el período del financiamiento.

Para los proyectos mayores con extensos períodos de construcción, el patrón de gastos puede tener efectos importantes en la economía del proyecto. Para las pequeñas plantas hidráulicas descentralizadas en consideración aquí, los períodos de construcción han de ser cortos por lo general y en consecuencia los patrones de gastos no tendrán tanta importancia.

La Tabla 1 presenta un resumen de las fuentes generales de información acerca del costo del proyecto. Para los proyectos pequeños en consideración, esta información podrá ser totalmente generada por una persona y podrá ser considerablemente simplificada en comparación con la requerida de un proyecto de multimegawatts. El nivel del detalle de costo y su precisión tendrán que ver con las circunstancias de la operación y el costo total del proyecto en consideración.

### Evaluación Económica

El análisis económico trata primordialmente del desarrollo y aplicación del análisis de beneficio y costo que es el procedimiento usado más frecuentemente para la evaluación de la economía del proyecto. El objetivo de este tipo de análisis es relacionar todos los beneficios económicos del proyecto a todos los costos económicos del proyecto que resultan a quien auspicia el proyecto. La extensión apropiada del análisis (los beneficios y costos que se deban incluir en el análisis) depende en gran escala de la naturaleza de la organización auspiciadora. Los componentes importantes del análisis económico son los costos anuales iniciales del proyecto y los costos

4. Provide funds for repair and replacement of major equipment necessary for project operation through the financing period.

For major projects with lengthy construction periods, the expenditure pattern can have important effects on project economics. For the small decentralized hydro projects being considered here, short construction periods will be the rule and consequently the expenditure pattern may not be very important.

Table 1 summarizes the general sources of the project cost information. For the small project being considered, this information may all be generated by one person and may be considerably simplified over that required for a multi-megawatt project. The level of cost detail, and its accuracy, will be tied to the circumstances at hand and to the overall cost of the contemplated project.

### Economic Evaluation

Economic analysis deals primarily with the development and application of benefit-cost analysis which is the most frequently used procedure for project economic evaluation. The objective of this type of analysis is to relate all project economic benefits to all project economic costs accruing to the project sponsor. The appropriate scope of the analysis (the benefits and costs that should be included in the analysis) depends largely on the nature of the sponsoring organization. Important components of the economic analysis are the project's initial and recurring annual costs and annual revenues. These items are the primary concern in the financial analysis. However, other costs and benefits not included in the project financial analysis may properly be included in the economic analysis. An example would be fishery benefits accruing from establishing an impoundment for small hydro purposes. Note that such benefits would accrue to the area, but probably would not influence the finances of the project.

**Framework of Economic Evaluation.** The most efficient use of resources is the objective of economic analysis as measured by economic evaluation criteria such as the benefit/cost (B/C) ratio. This objective will generally be met if the project net benefits are maximized and the scope of the analysis is properly formulated. Within this framework, many small hydroelectric projects can be analyzed as single-purpose, stand-alone

**Tabla 1**

**Información de Costo Requerido Para Análisis Financiero y Económico**

<u>Fuente</u>	<u>Información Suministrada</u>
(1) Investigación sobre Integridad de la Facilidad	Costos del capital y recurrentes u otros trabajos requeridos para permitir la producción de energía en una represa si fuere necesario.
(2) Investigación de las Facilidades Civiles	Costos del capital y mantenimiento del lugar, canales, cañerías de presión, planta de energía y otras facilidades civiles pertinentes.
(3) Investigación Electro-mecánica	Costos del capital, mantenimiento y operación de turbinas, generadores y otros equipos eléctricos o mecánicos. Son importantes el intervalo y costo de las reparaciones mayores en el futuro, que serán necesarias para el funcionamiento continuo.
(4) Estudio Hidrológico	Derechos y usos existentes que regulen el agua y el costo potencial en que se pueda incurrir para asegurar la disponibilidad del agua.
(5) Auspicio del Proyecto	Costo de la propiedad real u otros derechos de paso, y otros costos de implementación, tales como consultantes financieros, que no se incluyen en otra parte.

**Table 1**

**Cost Information Required for Economic and Financial Analysis**

<u>Source</u>	<u>Information Supplied</u>
(1) Facility Integrity Investigation	Capital and recurring costs or other work required to allow power production at an impoundment or dam if required.
(2) Civil Facilities Investigation	Capital and maintenance costs of site, water-ways, penstocks, powerhouse and other appurtenant civil facilities.
(3) Electromechanical Investigation	Capital, maintenance and operational costs of turbines, generators and other electrical or mechanical equipment. The timing and cost of future major repairs and replacements necessary for continued operation may be important.
(4) Hydrologic Study	Existing water uses and rights and potential costs that might be incurred to assure water availability.
(5) Project Sponsor	Cost of land or other right-of-ways, and other implementation costs (such as financial consultants) not included elsewhere.

anuales recurrentes y los ingresos anuales. Estos artículos son primordiales en el análisis financiero. No obstante, otros costos y beneficios que no se incluyan en el análisis financiero del proyecto pueden ser adecuadamente incluidos en el análisis económico. Un ejemplo serían los beneficios resultantes a la pesca como consecuencia del establecimiento de una represa para una planta hidroeléctrica pequeña. Nótese que tales beneficios darán resultados al área, pero probablemente no han de influenciar las finanzas del proyectos.

**Estructura de la Evaluación Económica.** El uso más eficiente de los recursos es el objetivo del análisis económico conforme se mide por los criterios de la evaluación económica tales como la proporción de beneficios al costo (B/C). Este objetivo será satisfecho generalmente si se maximizan los beneficios netos del proyecto y se formula adecuada-

ventures. If this is the case, the benefits are those associated with using the power, and the costs are those associated with supplying the power.

If other objectives are of importance, such as environmental quality or employment, the analysis may be structured to include these additional objectives. Multi-objective analysis is used to analyze this type of project. In multi-objective analysis, each separate objective served by the project is considered independent but not necessarily of equal rank or priority. Each objective generates its own benefit stream and carries its own costs and its fair share of any joint project costs. The multi-objective project is economically justified if, at a minimum, total economic benefits exceed costs and if each project purpose provides benefits at least equal to its separable costs.

**Scope of Economic Analysis.** A properly formulated small hydro project proposal attempts to



mente la extensión del análisis. Dentro de este marco de referencia, muchos proyectos hidroeléctricos pequeños pueden ser analizados como venturas independientes, con un sólo propósito. Si fuere éste el caso, los beneficios serán los asociados con el uso de la energía y los costos serán los asociados con el abastecimiento de energía.

Si hay otros objetivos de importancia, tales como la calidad o el uso del ambiente, el análisis puede ser estructurado de modo a incluir estos objetivos adicionales. Se utiliza un análisis con objetivo múltiple para analizar este tipo de proyecto. En dichos multi-análisis, cada objetivo separado servido por el proyecto es considerado independientemente pero no necesariamente de igual rango o prioridad. Cada objetivo genera su propia corriente de beneficios y contabiliza sus propios costos y su proporción de los costos de todo proyecto conjunto. Un proyecto con multi-objetivo se justifica económicamente si, al mínimo, los beneficios económicos totales exceden los costos y si el propósito de cada proyecto proporciona beneficios cuando menos iguales a sus costos separados.

**Extensión del Análisis Económico.** Una propuesta de proyecto de pequeña planta hidroeléctrica adecuadamente formulada trata de maximizar los beneficios netos del proyecto conforme se determina en la extensión del análisis. Esta extensión del análisis, o los objetivos, beneficios y costos a incluirse, dependen de la naturaleza de la organización auspiciadora. Si el auspiciador es un gobierno nacional, cuyos objetivos son más amplios, todos los costos y beneficios a nivel local, regional y nacional deberán ser incluidos.

**Discernimiento y Establecimiento de Rango.** Los criterios para la decisión económica pueden agruparse en dos clases: los más adecuados para discernimiento y los más adecuados para establecer rango.

El discernimiento se refiere a la determinación de si un proyecto tiene recompensas económicas aceptables. Para el desarrollo de una pequeña planta de energía hidráulica, se deben considerar una variedad de planes para desarrollo del potencial. El discernimiento de los diversos planes dará por resultado aquellos que resulten aceptables; todos los demás serán descartados como desarrollos antieconómicos.

El establecimiento de rangos se refiere a la determinación del orden de preferencia económica entre los proyectos. En la situación de pequeñas plantas hidroeléctricas, el proceso de discernimiento puede dar por resultado dos o más capacidades de la in-

maximize the net benefits of the project as determined by the scope of the analysis. The scope of the analysis, or the objectives, benefits, and costs to be included, depends on the nature of the sponsoring organization. If the sponsor is a national government, whose purpose is broadest, all costs and benefits on the local, regional, and national level would be included.

**Screening and Ranking.** Economic decision criteria can be grouped into two classes: those most suitable for screening and those most suitable for ranking.

Screening refers to determining if a project has an acceptable economic return. In a small hydro development, a number of potential development plans must be considered. Screening the various plans will yield those that have acceptable results; all others will be rejected as uneconomical developments.

Ranking refers to determining the order of economic preference among projects. In a small hydro situation, the screening process may yield two or more installed capacities or turbine types that are viable development alternatives. The ranking process helps choose which is the most economically desirable project among the group of acceptable plans.

The example presented below will be useful to illustrate the discussion of the various criteria. The example project parameters are:

1. Installed capacity	500kw
2. Annual energy production	2.45 million kWh/year
3. Plant factor	56 percent
4. Lump sum cost per kW	\$750
5. Annual operation & maintenance	\$15,000
6. Expected financing cost	12.5 percent
7. Construction period	1 year
8. Financing period	15 years
9. Escalation (cost & value)	10.0 percent
10. Initial value of energy	2.5¢/kWh

**Benefit-Cost Ratio (B/C).** The B/C ratio, the most commonly used decision rule, reduces the analysis to a single, consistent, one-figure decision rule that allows projects to be both screened and ranked.

instalación o tipos de turbinas que sean aceptables alternativas para el desarrollo. El proceso de establecimiento de rangos ayuda a seleccionar cuál es el proyecto más aceptable desde el punto de vista económico de entre el grupo de planes aceptables.

El ejemplo presentado más abajo será útil para ilustrar los diversos criterios. Los parámetros del proyecto del ejemplo son:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Capacidad instalada                 | 500 kW                   |
| 2. Producción anual de energía         | 2.45 millones de kWh/año |
| 3. Factor de la planta                 | 56 por ciento            |
| 4. Costo redondeado por kW             | \$750                    |
| 5. Operación y mantenimiento anual     | \$15,000                 |
| 6. Costo anticipado del financiamiento | 12.5 por ciento          |
| 7. Período de construcción             | 1 año                    |
| 8. Período del financiamiento          | 15 años                  |
| 9. Escalación (costo y valor)          | 10.0 por ciento          |
| 10. Valor inicial de la energía        | 2.5¢/kWh                 |

**Proporción del Beneficio: Costo (B/C).** La proporción B/C, la regla más comúnmente usada en la decisión final, reduce el análisis a una sola cifra consistente que permite que los proyectos sean discernidos y categorizados en rangos.

La proporción del beneficio al costo se calcula como la proporción del valor actual de los beneficios del proyecto y el valor presente del costo del proyecto original y los costos anuales:

$$\frac{\sum_{i=0}^n B_i/(1+k)^i}{CC + \sum_{i=0}^n C_i/(1+k)^i}$$

- donde  $B_i$  = año del beneficio  
 $C_i$  = costo durante el año  $i$   
 $CC$  = costo del capital  
 $n$  = duración del proyecto  
 $\Sigma$  = suma  
 $k$  = tipo de descuento

The benefit-cost ratio is calculated as the ratio of the present value of project benefits and the present value of the project original cost and annual costs:

$$\frac{\sum_{i=0}^n B_i/(1+k)^i}{CC + \sum_{i=0}^n C_i/(1+k)^i}$$

where:

$B_i$  = benefit in year

$C_i$  = cost in year  $i$

$CC$  = capital cost

$n$  = project life

$\Sigma$  = summation

$k$  = discount rate

The decision rule is to reject projects that have B/C ratios less than one. Using the example data presented above, the calculation of the B/C ratio is illustrated in Table 2. Note that escalation from year 0 has been accounted for. The ratio of 1.367 indicates a feasible project.

**Net Present Value (NPV).** The net present value criterion, like the B/C ratio, incorporates all of the pertinent economic data into a consistent one-figure decision rule that allows projects to be both screened and ranked.

The general procedure is to determine the present value (at the time of the first expenditure) of the future stream of net benefit flows. The screening decision criterion is to reject the project if the NPV is less than or equal to zero.

Without constraints on the amount of capital available for the project, the project with the highest NPV is ranked highest. If capital is constrained, as may very possibly be the case, the project with the highest NPV within the budget constraint is ranked highest.

$$NPV = \sum_{i=0}^n (NB_i/(1+k)^i)$$

where  $NB_i$  = the net benefits in year  $i$ .

For the example presented in Table 2, the NPV is equal to \$207,330 (\$771,194 — \$118,864 — \$375,000), a positive value indicating a feasible project.

La regla para la decisión es la de descartar proyectos que tengan B/C en proporción menor que 1. Usando el ejemplo descrito más arriba, los cálculos de la proporción B/C se ilustran en la Tabla 2. Nótese que se ha dado cuenta de la escalación desde el año 0. La proporción de 1,367 indica que el proyecto es factible.

## Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis, when applied to investment decision criteria such as the B/C ratio or the NPV, may be defined as the investigation of the impact on the decision criteria of variations in the important project parameters taken one at

Tabla 2  
Table 2  
Ejemplo del Cálculo de la Proporción B/C  
Example of B/C Ratio Calculation

Año Year	Corriente de Costo Cost Streams		Corriente de Benef Benefit Stream (10.00%)	Factor del Valor Presente Present Worth Factor (12.50%)	Valores al Presente Present Worths	
	Capital	OM&R (10.00%)		Costo Cost	Beneficio Benefit	
0	375,000			1.00000		
1		16,500	67,375	.88889	14,667	59,889
2		18,150	74,112	.79012	14,341	58,558
3		19,965	81,524	.70233	14,022	57,257
4		21,961	89,676	.62430	13,710	55,984
5		24,158	98,644	.55493	13,406	54,740
6		26,573	108,508	.49327	13,108	53,524
7		29,231	119,359	.43846	12,817	52,334
8		32,154	131,295	.38974	12,532	51,171
9		35,369	144,424	.34644	12,253	50,034
10		38,906	158,867	.30795	11,981	48,922
11		42,797	174,753	.27373	11,715	47,835
12		47,076	192,229	.24332	11,454	46,772
13		51,784	211,452	.21628	11,200	45,733
14		56,962	232,597	.19225	10,951	44,717
15		62,659	255,856	.17089	10,708	43,723

Totals = 188,864      771,194

Costo del Capital      Capital Cost = 375,000  
 Valor Presente de OM&R      P.V. of M&R = 188,864  
 Valor Presente de Beneficios      P.V. of Benefits = 771,194

Proporción B/C      Benefit/Cost Ratio = 1.3677  
 Valor Neto al Presente      Net Present Value = 207,330  
 OM&R = Operacion, Mantenimiento & Repuestos      OM&R = Operation, Maintenance & Replacements

**Valor Neto al Presente.** El criterio del valor neto al presente (NPV), así como la proporción B/C, incorpora todos los datos económicos pertinentes en una cifra consistente que da la regla de base para la decisión permitiendo el discernimiento y el establecimiento del rango de los proyectos.

El procedimiento general es el de determinar el valor presente (al momento de realizar el primer gasto) de las corrientes futuras del flujo de beneficios netos. El criterio para decidir descartar un proyecto es el de rehusarlo si el NPV es igual o menor que cero. Sin poner restricciones sobre la cantidad de capital disponible para el proyecto, el proyecto con el más alto NPV es el de más alto rango. Si se restringe el capital, como muy bien pudiera ser el caso, el proyecto que tenga el más alto NPV dentro presupuesto restringido es el que recibe el más alto rango.

$$NPV = \sum_{i=0}^n (NB_i / (1 + k)^i)$$

donde  $NB_i$  = beneficios netos durante el año  $i$ .

Para el ejemplo presentado en la Tabla 2, el NPV es igual a \$207,330 (\$771,194-118,864-\$375,000), un valor positivo que indica la fisibilidad del proyecto.

### Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad, cuando se aplique a los criterios de decisión de la inversión tales como la proporción B/C o en NPV, podrá ser definido como la investigación del impacto de los criterios de decisión de las variaciones en los parámetros importantes del proyecto, tomados uno por vez. El análisis es muy útil para examinar el grado al cual la viabilidad total del proyecto podría ser afectado por cambios en los parámetros cuyos valores pueden variar.

El procedimiento es el de determinar el rango sobre el cual el parámetro investigado pueda variar. El valor del criterio de la decisión es calculado entonces sobre el rango del parámetro.

Los resultados usualmente se despliegan gráficamente y se usa una variedad de diseños. La Figura 1 es un ejemplo de un método utilizado por los autores de este artículo, que permite el despliegue simultáneo de todos los cálculos de sensibilidad. El eje vertical indica la proporción del parámetro que varía al valor de la base. Por ejemplo, cuando los beneficios se reducen a un 80% de su valor de base, la proporción B/C del proyecto cae a 1.09.

a time. The analysis is very useful for examining the degree to which the overall project desirability could be affected by changes in parameters whose values may vary.

The procedure is to determine the range over which the parameter being investigated might vary. The value of the decision criteria is then calculated over the range of the parameter.

The results are usually displayed graphically and a variety of layouts are used. Figure 2 is an example of a method used by the authors which allows the simultaneous display of all the sensitivity calculations. The vertical axis displays the ratio of the parameter being varied to the base value. For example, when the benefits are reduced to 80 percent of their base value, the project's B/C ratio falls to 1.09.

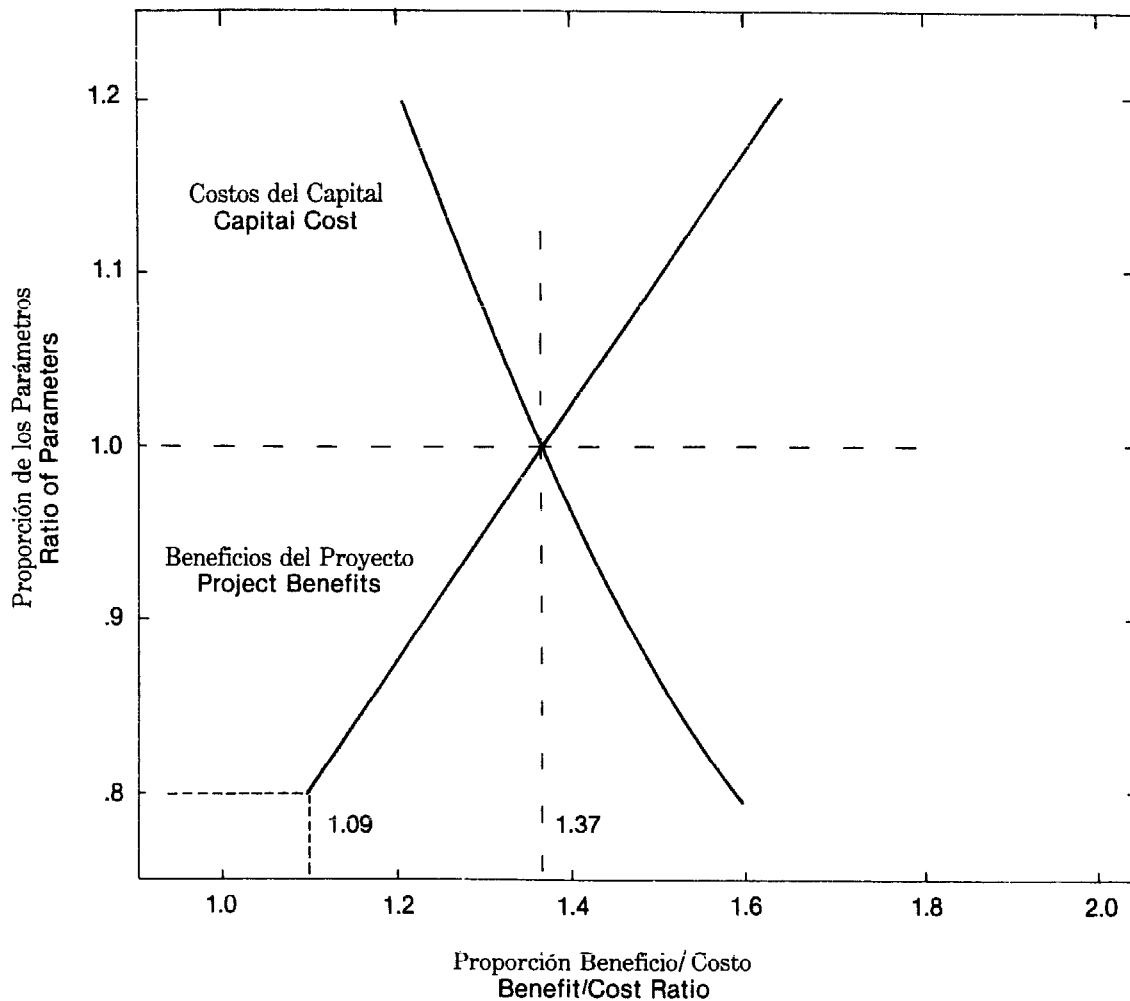
Some of the variables whose effect on the project might be investigated are completed cost, operation and maintenance costs, interest rates, and the initial value of the project's energy.

### Financial Analysis

The purpose of financial analysis for any project, not just decentralized small hydro development, is to determine a project's cash flow position taking into account the project's cost of money. The analysis will show that the project is either self-supporting (and consequently may qualify for financing from a broader spectrum of funding sources), or that the project cannot meet all of its financial commitments. If this is the case, the financial analysis will show the extent of the project deficit, allowing plans to be made to meet this deficit.

Financial analysis is performed by comparing project cash receipts with cash disbursements on an annual or more frequent basis. The analysis accounts for debt service but neglects noncash items such as depreciation. Depending on the country involved and the type of organization, tax effects may or may not be important. Table 3 illustrates financial analysis using the example data previously presented. Note that even a project with a desirable B/C ratio can run a deficit in its initial years.

An important component of an initial financial investigation is the identification of potential lending agencies. For small decentralized hydro projects in Latin America, international as well as domestic financing is a possibility. The World Bank is a major potential source of funds. The



**Figura 1.**  
**Figure 1.**

**Aplicación del Análisis de Sensibilidad al Ejemplo**  
**Application of Sensitivity Analysis to Example**

Algunas de las variantes cuyo efecto en el proyecto pueden ser el costo al completar, costos de operación y mantenimiento, porcentajes de interés, y el valor inicial de la energía del proyecto.

**Análisis Financiero**

El propósito del análisis financiero de cualquier proyecto, no solamente el desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas, es el de determinar la posición del flujo de los fondos del proyecto tomando en consideración el costo de los fondos del proyecto. El análisis indicará que el proyecto genera suficiente cantidad para soportarse de por sí (y en consecuencia pueda calificar para financiamiento desde un espectro más amplio de fuentes de recursos), o que el proyecto no puede satisfacer

Inter-American Development Bank is a source of funds for economically and financially sound projects. For other projects which may not have the necessary financial strength, the International Development Agency, part of the World Bank, is also a possibility. Other funding sources are the Agency for International Development (AID) and other programs directly sponsored by major industrial nations.

**Other Analytical Techniques**

Two other analytical techniques that may be important in Latin American decentralized hydroelectric development are incremental analysis and capital budgeting for multiple projects.

todos sus compromisos financieros. Si este fuere el caso, el análisis financiero indicará la extensión del déficit del proyecto, permitiendo la elaboración de planes para satisfacer dicho déficit.

Se ejecuta el análisis financiero mediante la comparación de los recibos del proyecto con los desembolsos en base anual o más frecuente. El análisis da cuenta de los servicios de deuda pero ignora los artículos que no implican gastos, tales como la depreciación. Dependiendo del país y el tipo de organización, los efectos de las tasas podrían ser importantes. La Table 3 ilustra el análisis financiero usando la información del ejemplo presentado anteriormente. Nótese que aún un proyecto con una

**Incremental Analysis.** Frequently, a hydro project can be formulated in many different ways which represent relatively minor changes to the main project. The question usually being asked is should a change in the project that increases cost, but also increases output, be made. A typical situation would be to determine if the size of the penstock should be increased to reduce hydraulic losses and consequently increase project output.

A proper analytical approach to this question is to analyze the increment in benefits versus the increment in costs. If this incremental benefit/cost ratio is greater than one, the proposed

Tabla 3  
Table 3

Ejemplo de Análisis Financiero  
Example of Financial Analysis

Año Year	Costos Costs		Total	Beneficios Benefits	Flujo de Efectivo (Costo-Beneficios) Cash Flow (Cost-Benefits)
	Servicio de la Deuda Debt Service <sup>1</sup>	OM&R <sup>2</sup>			
1	56,536	16,500	73,036	67,375	5,661
2	56,536	18,150	74,686	74,112	574
3	56,536	19,965	76,501	81,524	5,023
4	56,536	21,961	78,497	89,676	11,179
5	56,536	24,158	80,694	98,644	17,950
6	56,536	26,573	83,109	108,508	25,399
7	56,536	29,231	85,767	119,359	33,592
8	56,536	32,154	88,690	131,295	42,605
9	56,536	35,369	91,905	144,424	52,516
10	56,536	38,906	95,442	158,867	63,425
11	56,536	42,797	99,333	174,753	75,420
12	56,536	47,076	103,612	192,229	88,617
13	56,536	51,784	108,320	211,452	103,132
14	56,536	56,962	113,498	232,597	119,099
15	56,536	62,659	119,195	255,856	136,661

Notes:

<sup>1</sup> \$375,000 a 12.5 por ciento por 15 años. El factor del préstamo equivale a .15076.

<sup>2</sup> Operación, mantenimiento y repuestos.

<sup>1</sup> \$375,000 at 12.5 percent for 15 years. Loan factor equals .15076.

<sup>2</sup> Operation, maintenance, and replacements.

proporción deseable de B/C puede operar con déficit en sus años iniciales.

Un componente importante de una investigación financiera inicial es la identificación de agencias prestamistas potenciales. Para los proyectos de pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas en América Latina, es una posibilidad el financiamiento internacional así como también el doméstico. El Banco Mundial es una fuente mayor en cuanto a fuente potencial de préstamo. El Banco Inter-Americano de Desarrollo es una fuente de recursos de fondos para los proyectos sanos desde el punto de vista económico y financiero. Para otros proyectos que puedan no tener la fuerza financiera necesaria, la Agencia para el Desarrollo Internacional, parte del Banco Mundial, es también una posibilidad. Otras fuentes de préstamo son la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) y otros programas directamente auspiciados por las naciones industriales mayores.

### **Otras Técnicas Analíticas**

Dos técnicas analíticas adicionales que pueden ser importantes en los desarrollos de energía hidroeléctrica descentralizada en América Latina son el análisis de incremento y el presupuesto del capital para proyectos múltiples.

**Análisis de Incremento.** Con frecuencia, un proyecto hidráulico puede ser formulado de diversos modos que representen cambios relativamente menores al proyecto principal. La consulta usual se relaciona a si se debe introducir un cambio en el proyecto que aumente el costo pero al mismo tiempo aumente la producción. Una situación típica sería la de determinar si el tamaño de las cañerías se debería aumentar para reducir las pérdidas hidráulicas y consecuentemente aumentar el producto del proyecto.

Una manera analítica adecuada de responder a esta cuestión es la de analizar los incrementos en beneficios versus el incremento de los costos. Si esta proporción de los incrementos de beneficios y costos es mayor que uno, la modificación propuesta se justifica económicamente. Se debe notar que la modificación puede afectar la condición financiera del proyecto y consecuentemente la respuesta a esta cuestión podría requerir consideración adicional.

### **Presupuesto del Capital para Proyectos**

**Múltiples.** En un proyecto total para el desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas, un problema que ha de surgir es la selección del mejor conjunto de proyectos de una gran variedad, pero al mismo tiempo manteniéndose dentro de un límite de financiamiento. Hay diferentes modos de atacar este

modificación es económicamente justificada. It should be noted that the modification may affect the financial condition of the project and consequently the answer to this question may require additional consideration.

**Capital Budgeting for Multiple Projects.** In an overall program for decentralized small hydroelectric development, a problem that is likely to emerge is the selection of the best set of projects from a large spectrum while staying within a funding limit. There are a number of ways to approach this capital budgeting problem but all of them will utilize the basic techniques discussed above.

The most straightforward technique of selecting the "best set" of projects is a simple ranking in descending order of B/C ratio or NPV. Projects are then selected from the list until the available funding is utilized. While this technique has the appeal of simplicity, the method will frequently require modification to account for other program objectives.

In addition to the above, highly sophisticated techniques can be used for overall program design. A widely used technique is to cast the multi-project capital budgeting technique into a linear programming problem. This approach allows multiple program objectives to be achieved within an overall optimization context.

problema de presupuesto del capital pero todos han de utilizar las técnicas básicas presentadas anteriormente.

La técnica más directa de seleccionar el "mejor juego" de proyectos es una simple determinación de rangos en orden descendiente de B/C o NPV. Luego se seleccionan los proyectos de la lista hasta que los fondos disponibles se hayan agotado. Mientras esta técnica tiene el atractivo de su simplicidad, el método con frecuencia ha de requerir modificación para adecuarse a los objetivos del programa.

Además de lo arriba mencionado, se pueden utilizar técnicas altamente sofisticadas para el diseño del programa íntegro. Una técnica utilizada ampliamente es la de utilizar la técnica del presupuesto del capital para proyectos múltiples en forma de un problema de programación lineal. Este método permite la ejecución de objetivos múltiples dentro de un contexto de optimización en todo el programa.

## References

Electric Power Research Institute, *Technical Assessment Guide*, (PS-1201-SR), Palo Alto, California, 1979.

Electroperu, *El Programa de Pequeños y Medianos Centrales Hidroeléctricas en El Peru*, Abril, 1979.

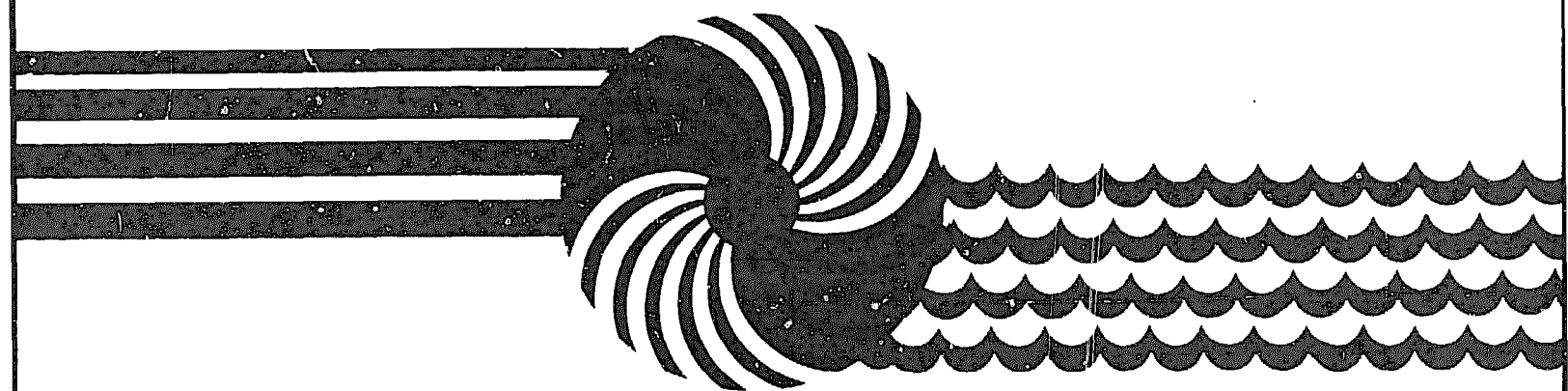
*Rural Electrification, A World Bank Paper*, World Bank, 1975.

Turvey, R. and Anderson, D. *Electricity Economics, Essays and Case Studies*, World Bank, 1977.

U.S. Army Corps of Engineers, *Feasibility Studies for Small-Scale Hydropower Additions, A Guide Manual*, July 1979.







**Tecnología para  
Pequeñas Centrales**

**Small Hydropower Technology**

**3**

# La Tecnología de las Turbinas Pequeñas Examen Selectivo

Roger E. A. Arndt

---

Roger E. Arndt examina los aspectos de la ingeniería relativa al desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas. El presta particular atención a las ocasiones en que la tecnología para las pequeñas centrales hidroeléctricas difiere de la experiencia ganada en proyectos de mayor escala.

---

## Introducción

Las turbinas hidráulicas producen una cuarta parte, aproximadamente, de la energía eléctrica del mundo. St. Anthony Falls (el Salto San Antonio), que puedo ver desde la ventana de mi oficina, sirve para recordarme constantemente el papel que la energía hidráulica ha desempeñado no sólo en el desarrollo de Minneapolis<sup>1</sup>, sino también en el desarrollo de nuestra civilización tal como la conocemos hoy. Se prevé que la energía hidroeléctrica seguirá desempeñando un papel importante en nuestro escenario energético y que tendrá un impacto cada vez más importante en el progreso de las regiones menos desarrolladas de nuestro planeta.

La turbina hidráulica tiene una rica y variada historia,<sup>2, 3</sup> y ha sido desarrollada como resultado de un proceso natural que ha evolucionado a partir de la rueda hidráulica. El empleo de la turbina hidráulica, para la generación de electricidad, utilizada originalmente para impulsar directamente la maquinaria, es una actividad relativamente reciente. Gran parte de su desarrollo ocurrió en Francia, que, al contrario de Inglaterra, no disponía de las fuentes de hulla, baratas y abundantes, que impulsaron la revolución industrial en el Siglo XVIII. La Francia del Siglo XIX encontró que su recurso energético más abundante era el agua. Hasta el día de hoy, la *houille blanche* (literalmente, la hulla blanca) es el término francés para la energía hidráulica.

En 1826, la Société de encouragement pur l'Industrie Nationale ofreció un premio de 6000 FF a toda persona que "aplicara en gran escala, de forma satisfactoria, en las fábricas y talleres de manufacturas, las turbinas o ruedas hidráulicas con las ruedas curvas de Belidor."<sup>3</sup> Belidor fué un ingeniero hidráulico y militar de Siglo XVIII que, en el período 1737-1753, escribió una obra monumental de cuatro

# Small Turbine Technology: A Selective Review

Roger E. A. Arndt

---

Roger E. Arndt examines the engineering aspects of small hydro development. He gives particular attention to those instances where small technology differs from experience gained in larger projects.

---

## Introduction

Water turbines produce approximately one-fourth of the world's electric power. The St. Anthony Falls, just outside my office window, serves as a constant reminder of the role that hydropower has played, not only in the development of Minneapolis<sup>1</sup>, but in the development of our civilization as we know it today. It is expected that hydropower will continue to have a place in our energy picture and will have an increasingly important impact on the growth of the less developed parts of our world.

The water turbine has a rich and varied history<sup>2,3</sup> and has been developed as a result of a natural evolutionary process from the water wheel. Originally used for direct drive of machinery, the use of the water turbine for the generation of electricity is a relatively recent activity. Much of its development occurred in France, which unlike England, did not have the cheap and plentiful sources of coal which sparked the industrial revolution in the eighteenth century. Nineteenth century France found itself with its most abundant energy resource being water. To this day *houille blanche* (literally white coal) is the French term for water power.

In 1826, the Societe de Encouragement pour l'Industrie Nationale offered a prize of 6,000 FF to anyone who "would apply on a large scale in a satisfactory manner, in factories and manufacturing works, the water turbines or wheels with the curved wheels of Belidor"<sup>3</sup>. Belidor was an eighteenth century hydraulic and military engineer who, in the period 1737-1753, authored a monumental four volume work on water wheels. The water wheels he described departed from convention by having a vertical axis of rotation

tomos sobre las ruedas hidráulicas. Las ruedas hidráulicas que él describió se apartaban de las convencionales debido a que tenían un eje vertical de rotación y a estar encerradas en una larga cámara cilíndrica de un metro de diámetro, aproximadamente. Se administraban grandes cantidades de agua desde una esclusa ahusada tangente a la cámara. El agua entraba con una velocidad de rotación considerable. Esta rotación previa, junto con el peso del agua encima de la rueda, era la fuerza impulsora. La rueda original de cubos tenía una eficiencia de sólo 15 a 20 por ciento.

El desarrollo de las turbinas hidráulicas prosiguió en varios frentes durante el período de 1750 a 1850. La rueda hidráulica clásica de eje horizontal fué mejorada por ingenieros tales como John Smeaton, de Inglaterra (1724-92), que también desempeñó un papel importante en el desarrollo de los molinos de viento, y el ingeniero francés J.V. Poncelet (1788-1867). Esto resultó en ruedas hidráulicas que tenían eficiencias de 60 a 70 por ciento. Al propio tiempo, varios investigadores estaban considerando el uso de turbinas de reacción (algo parecidas a los modernos aspersores de jardín). El gran matemático suizo, Leonhard Euler (1707-83), investigó la teoría de la operación de estos dispositivos. En 1807, Mannoury de Ectot (1777-1822) introdujo en Francia una aplicación práctica del concepto. Sus máquinas eran, en efecto, un aparato de flujo radial hacia el exterior. Los análisis teóricos de Burdin (1790-1893), profesor francés de ingeniería de minas, contribuyeron grandemente a aumentar nuestra comprensión de los principios de la operación de las turbinas y subrayaron los requisitos principales de entrada y salida libre de choques con una velocidad mínima como necesidad fundamental para una elevada eficiencia. Un discípulo de Burdin, Benoit Foureyron, fue responsable de llevar la teoría de su maestro a la práctica. Su labor condujo al desarrollo de turbinas de alta velocidad con eficiencias superiores a 80 por ciento. Los trabajos iniciales de Fourneyron resultaron en varias aplicaciones prácticas y en el otorgamiento del codiciado premio de 6000 francos en 1833. Después de casi un siglo de desarrollo, la rueda de cubos de Belidor había sido mejorada oficialmente.

Fourneyron empleó los años restantes de su vida desarrollando unas 100 turbinas en Francia y Europa. Algunas turbinas llegaron incluso a Estados Unidos, la primera de ellas alrededor de 1843. Las turbinas Fourneyron estaban concebidas para toda una serie de condiciones; caídas de hasta 114 metros

and being enclosed in a long cylindrical chamber approximately one meter in diameter. Large quantities of water were supplied from a tapered sluice at a tangent to the chamber. The water entered with considerable rotational velocity. This pre-swirl, combined with the weight of water above the wheel, was the driving force. The original tub wheel had an efficiency of only 15 percent to 20 percent.

Water turbine development proceeded on several fronts during the period 1750 to 1850. The classical horizontal axis water wheel was improved by such engineers as John Smeaton of England (1724-92), who also played an important role in windmill development, and the French engineer J. V. Poncelet (1788-1867). This resulted in water wheels having efficiencies in the range of 60 percent to 70 percent. At the same time, reaction turbines (somewhat akin to the modern lawn sprinkler) were being considered by several workers. The great Swiss mathematician, Leonhard Euler (1707-83), investigated the theory of operation of these devices. A practical application of the concept was introduced in France in 1807 by Mannoury de Ectot (1777-1822). His machines were in effect, a radial outward flow machine. The theoretical analyses of Burdin (1790-1893), a French professor of mining engineering, contributed much to our understanding of the principles of turbine operation and underscored the principle requirements of shock free entry and exit with minimum velocity as the basic requirements for high efficiency. A student of Burdin, Benoit Foureyron, was responsible for putting his teacher's theory to practical use. His work led to the development of high-speed turbines with efficiencies in excess of 80 percent. The early work of Fourneyron resulted in several practical applications and the winning of the coveted 6,000 franc prize in 1833. After nearly a century of development, Belidor's tub wheel had been officially improved.

Fourneyron spent the remaining years of his life developing some 100 turbines in France and Europe. Some turbines even found their way to the U.S.; the first in about 1843. The Fourneyron turbines were designed for a wide range of conditions; heads as high as 114 meters and speeds as high as 2300 rpm. Very low head turbines were also designed and built.

As successful as the Fourneyron turbines were, they lacked flexibility and were only effi-

y velocidades de hasta 2300 rpm. También se diseñaron y construyeron turbinas de caídas muy bajas.

A pesar del éxito recogido por las turbinas Fourneyron, carecían de flexibilidad y sólo eran eficientes en una gama limitada de condiciones de operación. Este problema fué abordado por Hoyd y Boyden (1804-79). Su trabajo evolucionó al concepto de un motor de flujo hacia dentro debido a James B. Francis (1815-92). La moderna turbina Francis es el resultado de esta línea de desarrollo. Al propio tiempo, los ingenieros europeos abordaron la idea de las máquinas de flujo axial, que hoy están representados por las turbinas a "hélice" del tipo Kaplan.

Al igual que las ruedas Belidor de cubos de eje vertical evolucionaron en las modernas turbinas de reacción del tipo Francis y Kaplan, el desarrollo de la rueda hidráulica clásica, de eje horizontal, alcanzó su punto culminante con la introducción de la turbina a impulsos. Las simientes del desarrollo fueron plantadas por Poncelet en 1826 con su descripción de los criterios para una rueda hidráulica eficiente. Estas ideas fueron promovidas por un grupo de ingenieros californianos a fines del Siglo XIX, uno de los cuales fué Lester A. Pelton (1829-1908), cuyo nombre se ha dado a la rueda Pelton, un chorro o chorros de agua que inciden en una serie de cubos especialmente configurados, espaciados a poca distancia entre sí alrededor de la periferia de una rueda. Así, pues, puede afirmarse que las turbinas de velocidad relativamente elevada de la clase Francis y Kaplan tienen sus orígenes en las ruedas de cubos de eje vertical de Belidor, mientras que la rueda Pelton puede considerarse como la evolución directa de la rueda hidráulica de eje horizontal más conocida. En el curso de 250 años de desarrollo, se ensayaron muchas ideas, algunas fueron rechazadas y otras mantenidas e incorporadas en el diseño de la turbina hidráulica tal como la conocemos hoy. Esta labor de desarrollo ha resultado en dispositivos sumamente eficientes, de hasta 95 por ciento de eficiencia, que, en términos del concepto de diseño, caen generalmente dentro de tres categorías. El resto de este estudio está dedicado a analizar los principios de operación, la clasificación y selección de las turbinas para determinadas condiciones operativas, y un exámen de las características de desempeño y limitaciones operativas. La mayor parte de nuestra labor de desarrollo ha estado relacionada con turbinas grandes en tanto que la tecnología de las turbinas pequeñas ha consistido principalmente en una copia en miniatura de las turbinas mayores. En este estudio

cient over a narrow range of operating conditions. This problem was addressed by Hoyd and Boyden (1804-79). Their work evolved into the concept of an inward flow motor due to James B. Francis (1815-92). The modern Francis turbine is the result of this line of development. At the same time, European engineers addressed the idea of axial flow machines, which today are represented by "propeller" turbines of the Kaplan type. Just as the vertical axis tub wheels of Belidor evolved into modern reaction turbines of the Francis and Kaplan type, development of the classical, horizontal axis water wheel reached its peak with the introduction of the impulse turbine. The seeds of development were sown by Poncelet in 1826 with his description of the criteria for an efficient water wheel. These ideas were cultivated by a group of California engineers in the late 19th century, one of whom was Lester A. Pelton (1829-1908), whose name is given to the Pelton wheel, a jet or jets of water impinging on an array of specially shaped buckets, closely spaced around the periphery of a wheel. Thus, it can be said that the relatively high speed turbines of the Francis and Kaplan type trace their roots to the vertical axis tub wheels of Belidor, whereas the Pelton wheel can be considered as a direct development of the more familiar horizontal axis water wheel. In over 250 years of development, many ideas were tried, some were rejected and others were retained and incorporated in the design of the hydraulic turbine as we know it today. This development has resulted in highly efficient devices, as high as 95 per cent, which, in terms of design concept, fall into roughly three categories. The rest of this paper is devoted to a review of the principles of operation, the classification and selection of turbines for given operating conditions and a review of performance characteristics and operational limitations. Most of our development effort has been placed on large turbines, small turbine technology consisting chiefly of scaling down larger turbines. This paper attempts to review the validity of this concept and attempts to focus on some needs for improvement.

Because of the limitations on time for preparation, this paper is necessarily more tutorial than was originally envisioned. Many manufacturers of small equipment were contacted, but only a handful answered our inquiries at the time this paper went to press.

tratamos de analizar la validez de este concepto y de concentrarnos en algunas necesidades de mejora.

Debido a las limitaciones de tiempo en su preparación, el estudio tiene un carácter más orientativo que el que se previó originalmente. Nos pusimos en contacto con muchos fabricantes de equipo pequeño, pero sólo unos cuantos habían contestado a nuestras preguntas en la fecha en que este documento pasó a la imprenta.

## Principios de Operación

### Ecuación de Euler

La torsión del rotor una turbina puede obtenerse, mediante la conservación del impulso radial. En otras palabras, la torsión del rotor es la diferencia entre la tasa de impulso angular que entra en el rotor y la existente. Con referencia a la figura que se acompaña, esto puede expresarse como

$$(1) \quad T = \rho Q (r_1 V_1 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2)$$

donde  $\rho$  es la densidad de fluido y  $Q$ , la tasa volumétrica del flujo.

## Principles of Operation

**Euler's Equation.** The torque on the runner of a turbine can be found through conservation of radial momentum. In words, the torque on a runner is the difference between the rate of angular momentum entering the runner and that exiting. Referring to the accompanying figure, this can be written as

$$(1) \quad T = \rho Q (r_1 V_1 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2)$$

wherein  $\rho$  is the fluid density and  $Q$  is the volumetric rate of flow.

Since the power produced is proportional to the product of mass flow rate and head, we can write the following

$$(2) \quad T\psi = \rho g Q H'$$

$$(3) \quad \psi r_1 = u_1$$

$$(4) \quad \psi r_2 = u_2$$

Thus

$$(5) \quad H' = \frac{u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2}{g}$$

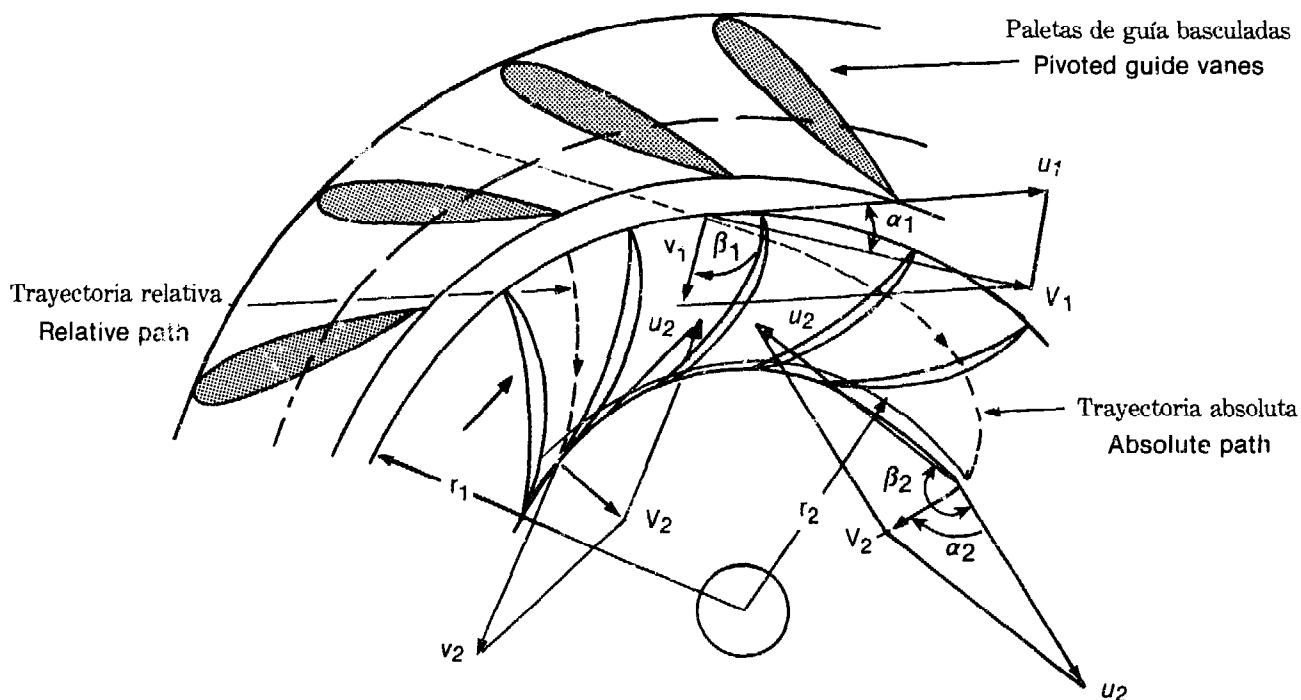


Figura 1 Turbina Hidráulica de Flujo Radial. Adaptada de Daugherty y Francini<sup>4</sup>  
Figure 1 Radial Flow Hydraulic Turbine. Adapted from Daugherty and Francini<sup>4</sup>

Puesto que la potencia producida es proporcional al producto de la tasa del flujo de masa y la caída podemos hacer la siguiente formulación:

$$(2) \quad T\psi = \rho g Q H'$$

$$(3) \quad \psi r_1 = u_1$$

$$(4) \quad \psi r_2 = u_2$$

Por tanto

$$(5) \quad H' = \frac{u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2}{g}$$

donde  $H'$  es la caída utilizada por el rotor en la producción de energía. Hemos de tener cuidado y tener presente que  $V_1, V_2$  son cantidades absolutas mientras que  $u_1$  y  $u_2$  son las velocidades periféricas a la entrada y salida, respectivamente. En un marco de referencia fijo, la velocidad absoluta  $\underline{V}$  está relacionada con la suma vectorial de la velocidad relativa  $\underline{v}$  y la velocidad de un cuerpo que se mueve a velocidad  $\underline{u}$ . En una anotación vectorial

$$(6) \quad \underline{V} = \underline{u} + \underline{v}$$

Definiremos los ángulos de  $\alpha$  y  $\beta$  como, respectivamente, los ángulos constituidos por las velocidades absoluta y relativa de un fluido con la velocidad lineal  $\underline{u}$  de algún cuerpo. Esto puede verse en el diagrama que reproducimos a continuación.

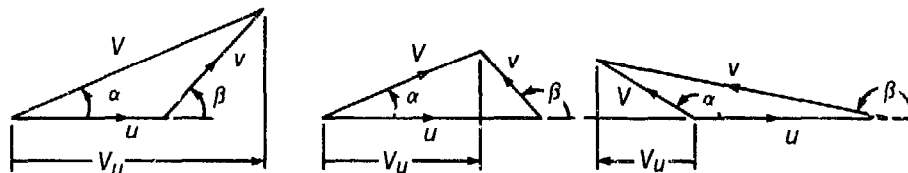


Figura 2 Triángulos Típicos de Velocidad  
Figure 2 Typical Velocity Triangles

Es evidente al estudiar las figuras que

$$(7) \quad V \sin \alpha = v \sin \beta$$

$$(8) \quad V \cos \alpha = u + v \cos \beta$$

where  $H'$  is the head utilized by the runner in the production of power. We must be careful to keep in mind that  $V_1, V_2$  are absolute quantities, whereas  $u_1$  and  $u_2$  are the peripheral speeds at entrance and exit, respectively. In a fixed frame of reference the absolute velocity  $\underline{V}$  is related to the vector sum of the relative velocity  $\underline{v}$  and the velocity of a body moving with velocity  $\underline{u}$ . In vector notation

$$(6) \quad \underline{V} = \underline{u} + \underline{v}$$

We will define the angles of  $\alpha$  and  $\beta$  as respectively the angles made by the absolute and relative velocities of a fluid with the linear velocity  $u$  of some body. This is illustrated in the diagram below.

It is obvious from inspection of the figures that

$$(7) \quad V \sin \alpha = v \sin \beta$$

$$(8) \quad V \cos \alpha = u + v \cos \beta$$

The energy equation written between two points is given by

$$(9) \quad \left( \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) = H_L + \frac{u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2}{g}$$

wherein  $H_L$  represents frictional losses and the last term on the right hand side of the equation represents the head absorbed by the turbine. It follows from Eqs. (7) and (8) that

$$(10) \quad V^2 = v^2 + u^2 + 2vu \cos \beta$$

La ecuación de energía formulada entre dos puntos la proporciona

$$(9) \quad \left( \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) = H_L + \frac{u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2}{g}$$

donde  $H_L$  representa las pérdidas por fricción y el último término en el lado de la derecha de la ecuación representa la caída absorbida por la turbina. De las ecuaciones (7) y (8) se desprende que

$$(10) \quad V^2 = v^2 + u^2 + 2vu \cos \beta$$

$$(11) \quad uV \cos \alpha = u(u + v \cos \beta)$$

Combinando las ecuaciones (9) (10) y (11) se obtiene la llamada ecuación de energía en un marco de referencia rotativo.

$$(12) \quad \left( \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2 - u_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2 - u_2^2}{2g} \right) = H_L$$

Adviértase que si no hay flujo,  $V_1 = V_2 = 0$  y la ecuación se reduce a ello para un vortice. Si no hay rotación, la ecuación se reduce a la forma conocida de la ecuación de energía.

### Eficiencia de las Turbinas

La eficiencia hidráulica de una turbina se define mediante

$$(13) \quad \eta_H = \frac{H'}{H}$$

donde  $H$  es la caída total disponible (posteriormente la definiremos más detenidamente). La eficiencia mecánica es definida por

$$(14) \quad \eta_m = \frac{Bhp}{Bhp + FHp}$$

donde  $FHp$  es el caballaje consumido por la fricción tanto mecánica como toda la fricción de los fluidos que no sea la de las propias paletas. La eficiencia volumétrica representa el flujo de escape que no trabaja,

$$(15) \quad \eta_v = \frac{Q - Q_L}{Q}$$

donde  $Q_L$  es el flujo de escape. La eficiencia general es, pues, el producto de los tres términos

$$(16) \quad \eta = \eta_H \eta_m \eta_v$$

$$(11) \quad uV \cos \alpha = u(u + v \cos \beta)$$

Combining Eqs. (9), (10) and (11) results in the so-called energy equation in a rotating frame of reference.

$$(12) \quad \left( \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2 - u_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2 - u_2^2}{2g} \right) = H_L$$

Note that if there is no flow,  $v_1 = v_2 = 0$  and the equation reduces to that for a vortex. If there is no rotation, the equation reduces to the familiar form of the new energy equation.

### Turbine Efficiency

The hydraulic efficiency of a turbine is defined by

$$(13) \quad \eta_H = \frac{H'}{H}$$

wherein  $H$  is the total head available (this will be defined in more detail later). Mechanical efficiency is defined by

$$(14) \quad \eta_m = \frac{Bhp}{Bhp + FHp}$$

where  $FHp$  is the horsepower consumed by friction both mechanical and all fluid friction other than the blades themselves. The volumetric efficiency accounts for leakage flow which does no work

$$(15) \quad \eta_v = \frac{Q - Q_L}{Q}$$

where  $Q_L$  is the leakage flow. The overall efficiency is then the product of the three terms

$$(16) \quad \eta = \eta_H \eta_m \eta_v$$

Equation (16) clearly delineates those factors which detract from optimum efficiency of a turbine. The hydraulic efficiency is an expression of how effective the turbine blade is in producing an optimum variation in velocity (both in magnitude and direction through the machine). The mechanical efficiency expresses the losses due to seals, bearings, and fluid friction on the runner shroud, whereas volumetric efficiency is an indication of the effectiveness of the turbine seals.

La ecuación (16) delinea claramente los factores que reducen la eficiencia óptima de una turbina. La eficiencia hidráulica es una expresión de la eficacia de la paleta de una turbina en producir una variación óptima en la velocidad (tanto en magnitud como en dirección a través de la máquina). La eficiencia mecánica expresa las pérdidas debidas a la fricción de los sellos, rodamientos y fluidos en la cubierta del rotor, mientras que la eficiencia volumétrica es una indicación de la eficacia de los sellos de la turbina.

### Semejanza

Es importante considerar determinadas relaciones de semejanza para una turbina, ya que éstas proporcionan información sobre la clase de máquina adecuada para una determinada serie de condiciones, proporcionan un método de extrapoliación de los datos de las pruebas del modelo al prototipo, y permiten la determinación de la eficacia de operación de una determinada máquina en distintas condiciones de flujo, caída y velocidad. Las máquinas menores de unos 5 a 10 MW no son generalmente objeto de pruebas con modelos. Sin embargo, con una comprensión adecuada de la semejanza, podemos determinar las características operativas de una máquina pequeña a partir de datos operativos con una máquina mayor o a partir de pruebas con modelos para una máquina análoga aunque mayor.

A continuación reproducimos un rotor típico de turbina.

### Similitude

It is important to consider similarity relationships for a turbine, since these provide information on the type of machine suitable for a given set of conditions, provide a method for extrapolation of model test data to the prototype, and allow the determination of how a given machine will operate under varying flow, head, and speed. Machines smaller than about 5 to 10 MW are not generally the subject of model tests. However, with a proper understanding of similitude one can determine the operational characteristics of a small machine from operating data from a larger machine or from model tests for a similar but larger machine.

A typical turbine runner is shown below.

For geometrically similar devices  $B/D$  is a constant. The radial component of the inlet velocity is

$$(17) \quad V_R = V_1 \sin \alpha_1 = C_1 \sin \alpha \sqrt{2gH}$$

Thus the flow rate is simply the product of inlet area and the radial component of velocity:

$$(18) \quad Q = (f\pi \frac{B}{D} C_R) D^2 \sqrt{2gH}$$

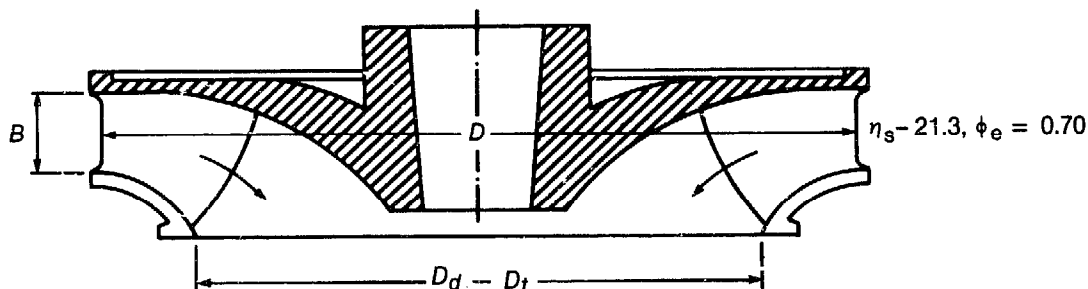


Figura 3 Rotor Típico de Turbina  
Figure 3 Typical Turbine Runner

Para dispositivos geoméricamente análogos  $B/D$  es una constante. El componente radial de la velocidad de entrada es

$$(17) \quad V_R = V_1 \sin \alpha_1 = C_1 \sin \alpha \sqrt{2gH}$$

Wherein  $f$  represents the fraction of free space in the inlet passage ( $f \sim 0.95$ ). Thus

$$(19) \quad Q = C_Q D^2 \sqrt{2gH}$$



Así, pues, la tasa del flujo es simplemente el producto del área de entrada y el componente radial de velocidad:

$$(18) \quad Q = (f\pi \frac{B}{D} C_R) D^2 \sqrt{2gH}$$

Donde f representa la fracción del espacio libre en el paso de entrada ( $f \sim 0,195$ ). Así, pues,

$$(19) \quad Q = C_Q D^2 \sqrt{2gH}$$

De la ecuación de Euler, la torsión es

$$T = \rho Q (r_1 V_2 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2)$$

por lo que

$$(20) \quad T = C_T \gamma D^3 H$$

La velocidad de la máquina está relacionada con la velocidad periférica. De donde

$$(21) \quad \psi = \frac{2u_1}{D} \quad (\text{radiantes por segundo})$$

$$(22) \quad \psi = C_n \frac{\sqrt{2gH}}{D}$$

Finalmente, la potencia desarrollada es proporcional a la torsión y la velocidad. Por lo que

$$(23) \quad P = C_p \gamma D^2 \sqrt{2gH^3}$$

Eliminando el diámetro D entre las ecuaciones (22) y (23) se obtiene la velocidad específica definida como

$$(24) \quad N_s = \frac{\psi \sqrt{P}}{\rho^{1/2} [gH]^{5/4}}$$

$N_s$  en la ecuación (24) no es dimensional. En la práctica normal, la velocidad específica tiene unidades y se define como

$$(25) \quad n_s = \frac{n \sqrt{Bhp}}{(H)^{5/4}}$$

donde n, Bhp, y H son rpm, Bhp del sistema inglés y pies en el sistema inglés de unidades o rpm, Bhp del

From the Euler equation, the torque is

$$T = \rho Q (r_1 V_2 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2)$$

thus

$$(20) \quad T = C_T \gamma D^3 H$$

The speed of the machine is related to the tip speed. Hence

$$(21) \quad \psi = \frac{2u_1}{D} \quad (\text{radians/sec})$$

$$(22) \quad \psi = C_n \frac{\sqrt{2gH}}{D}$$

Finally, the power developed is proportional to torque and speed. Thus

$$(23) \quad P = C_p \gamma D^2 \sqrt{2gH^3}$$

Eliminating diameter D between Eqs. (22) and (23) yields the specific speed defined as

$$(24) \quad N_s = \frac{\psi \sqrt{P}}{\rho^{1/2} [gH]^{5/4}}$$

$N_s$  in Eq. (24) is non-dimensional. In normal practice, the specific speed has units and is defined as

$$(25) \quad n_s = \frac{n \sqrt{Bhp}}{(H)^{5/4}}$$

where n, Bhp, and H are rpm, English Bhp and ft in the English system of units or rpm, Metric Bhp and meters in the metric system. The conversion is as follows:

$$n_s = 43.5 N_s \quad (\text{English Units})$$

$$n_s = 193.1 N_s \quad (\text{Metric units using metric horsepower})$$

$$n_s = 166 N_s \quad (\text{Metric units using KW for power})$$

Thus a turbine manufactured in Japan and tested in Europe would have a specific speed 4.4 times higher than the same turbine tested in the U.S.! One can only guess what the specific speed will be on the moon!

sistema métrico y metros en el sistema métrico. La conversión es la siguiente:

$$n_s = 43.5 N_s \text{ (Unidades inglesas)}$$

$$n_s = 193.1 N_s \text{ (Unidades métricas utilizando caballos de fuerza del sistema métrico)}$$

$$n_s = 166 N_s \text{ (Unidades métricas utilizando kW para fuerza)}$$

Así, una turbina fabricada en el Japón y ensayada en Europa tendría una velocidad específica 4.4 veces más alta que la misma turbina ensayada en los EE.UU. Nos preguntamos cuál sería la velocidad específica en la luna!

Las ecuaciones (19), (22) y (23) describen la escala de la tasa de flujo, velocidad, y potencia con el tamaño y la caída para una máquina determinada, suponiendo una velocidad específica constante. Cada diseño de una máquina tiene una eficiencia de punta a un valor de velocidad específica. Este es el valor de la velocidad específica citada por el diseñador o fabricante. La forma en que la eficiencia varía con la velocidad específica es una función de la clase de máquina.

## La Tecnología de las Turbinas

### Descripción de las Turbinas

Hay dos clases básicas de turbinas, llamadas a impulsos y de reacción. En una turbina de impulsos, la caída disponible se convierte a energía cinética a una presión atmosférica antes de entrar en el rotor, extrayéndose la energía disponible del flujo a presión atmosférica. En una turbina de reacción, el rotor está completamente sumergido y tanto la presión como la velocidad disminuyen desde la entrada hasta la salida. En cualquiera de las máquinas, la torsión es igual a la tasa de cambio del impulso angular a través de la máquina tal como lo expresa la ecuación Euler.

Las turbinas modernas de impulsos consisten en ruedas Pelton, turbinas Turgo y turbinas de Flujo Transversal. Las turbinas de reacción son o bien turbinas radiales, turbinas Francis de flujo mixto, o turbinas a hélice de flujo axial. Hay muchas variaciones de las turbinas de flujo axial. La turbina Kaplan tiene hélices de ángulo ajustables y compuertas de mariposa, tal como se ilustra en la figura 4.

Las variaciones modernas de la turbina de flujo axial comprenden los tipos de tubo, bombilla y Straflow ilustrados en la figura 5. El tipo de tubo puede ser una hélice fija, semi-Kaplan o totalmente

Equations (19), (22), and (23) describe the scaling of flow rate, speed, and power with size and head for a given machine assuming constant specific speed. Each machine design has peak efficiency at one value of specific speed. It is this value of specific speed that is quoted by the designer or manufacturer. The manner in which efficiency varies with specific speed is a function of the type of machine.

## Turbine Technology

### Description of Turbines

There are two basic types of turbines, denoted as impulse and reaction. In an impulse turbine, the available head is converted to kinetic energy at atmospheric pressure before entering the runner, the power available being extracted from the flow at atmospheric pressure. In a reaction turbine, the runner is completely submerged and both the pressure and the velocity decreases from inlet to outlet. In either machine the torque is equal to the rate of change of angular momentum through the machine as expressed by the Euler equation.

Modern impulse turbines consist of Pelton wheels, Turgo and Cross Flow turbines. Reaction turbines are either radial or mixed flow Francis turbines or axial flow propeller turbines. There are many variations of the axial flow turbine. The Kaplan turbine has adjustable blades and wicket gates, as shown in Fig. 4.

Modern variations of the axial flow turbine include the tube, bulb and Straflow types as illustrated in Fig. 5. The tube type can be fixed propeller, semi-Kaplan or fully adjustable. The externally-mounted generator is driven by a shaft. The flow enters and exits with relatively minor changes in direction. The bulb turbine features a generator and turbine housed within a pod or bulb and is generally used in larger applications. The Straflow turbine is an elegant solution to the generator problem and was first proposed by the founder of the Harza Engineering Company, Leroy F. Harza. In this variation, the generator is mounted at the periphery of the turbine runner thereby providing minimum obstruction to the flow. Two examples of Francis turbines are shown in Fig. 6. The similarity to a centrifugal pump should not go unnoticed. In fact, pumps can be operated as turbines. The use of small pumps as small turbines is currently under study.<sup>5</sup> A typical Pelton wheel arrangement is shown in Fig. 7a. The lower portion of the figure

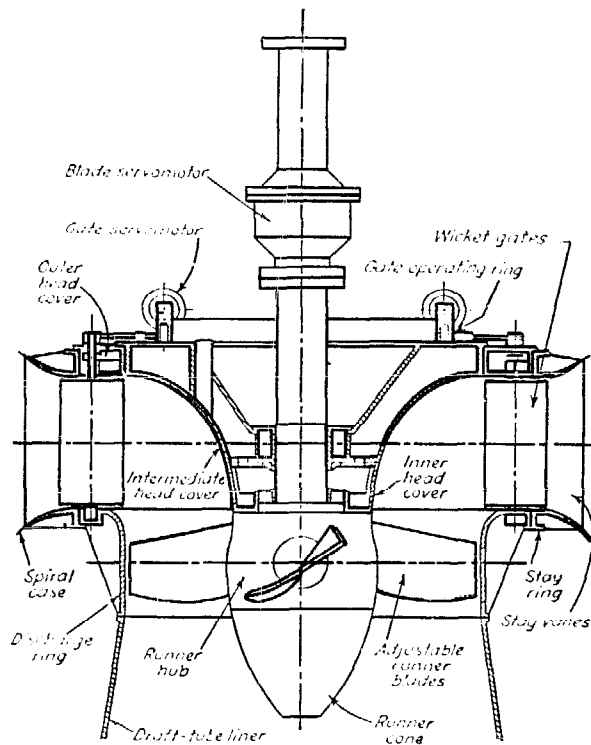


Figura 4 Turbina de Flujo Axial Smith-Kaplan con Hélices de Rotor de Angulo Ajustable,  $N_s \approx 3.4$   
 Figure 4 Smith-Kaplan Axial-Flow Turbine with Adjustable-Pitch Runner Blades,  $N_s \approx 3.4$

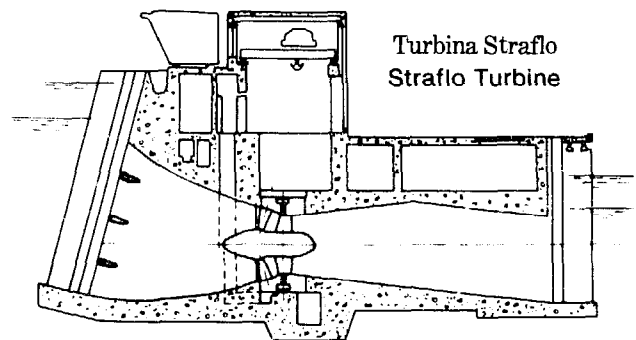
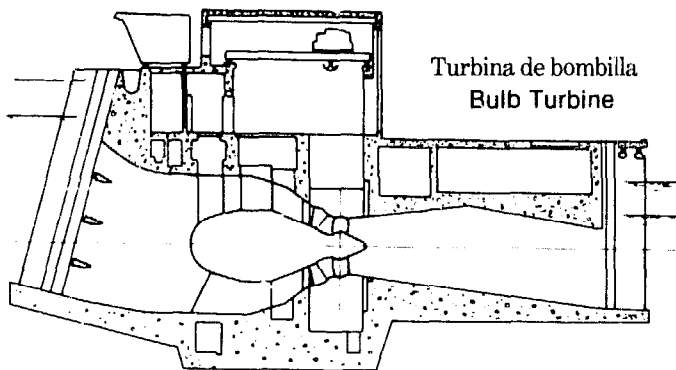
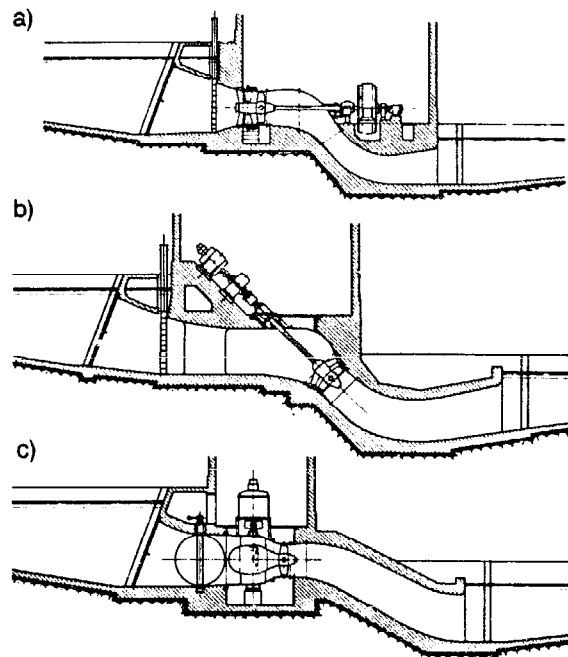


Figura 5a Comparación de las Estructuras Requeridas para las Turbinas Straflow Frente a las Turbinas de Bombilla con la misma Producción y Caída  
 Figure 5a Comparison of Structures Required for Straflo vs Bulb Turbines with Same Output and Head



**Figura 5b Varias Disposiciones de Turbinas de Tubo**  
**Figure 5b Various Tube Turbine Arrangements**

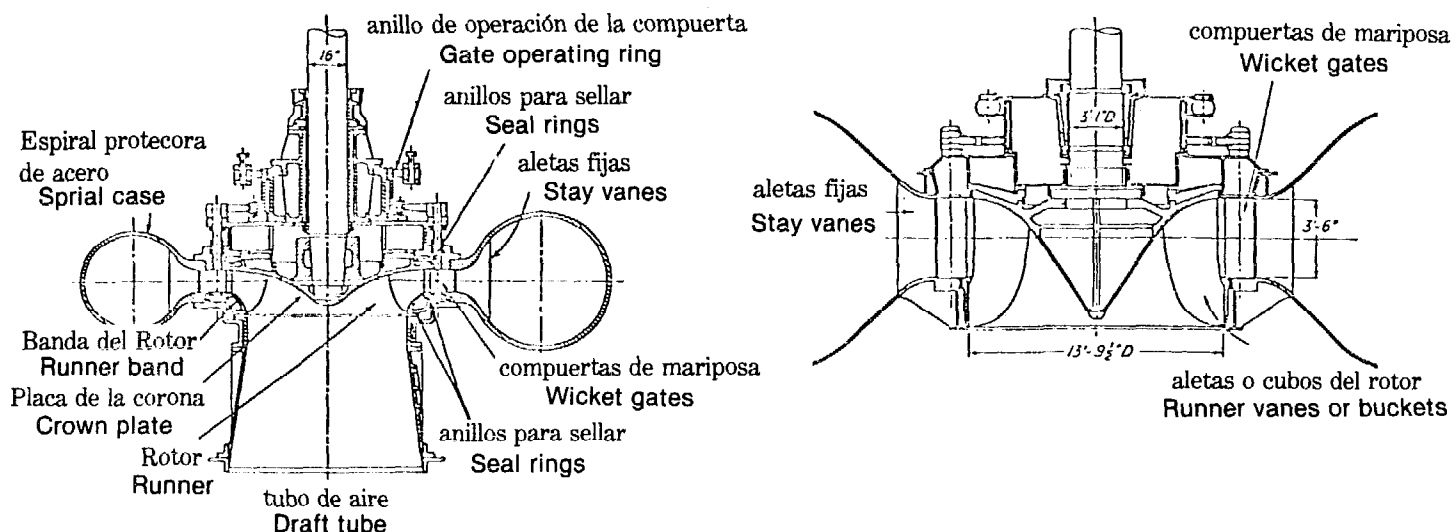
ajustable. El generador montado en el exterior es accionado por un eje. El flujo entra y sale con cambios de dirección relativamente pequeños. La turbina de bombilla tiene un generador y una turbina alojados en un receptáculo o bombilla y generalmente se utiliza para aplicaciones mayores. La turbina Straflow es una solución elegante para el problema del generador y fué propuesta inicialmente por el fundador de la Harza Engineering Company, Leroy F. Harza. En esta variante, el generador va montado en la periferia del rotor de la turbina con lo que proporciona una obstrucción mínima al flujo. En la figura 6 se presentan dos ejemplos de turbinas Francis. No pasará desapercibida la similitud a una bomba centrífuga. En realidad, las bombas pueden operarse como turbinas. Actualmente se está estudiando el uso de bombas pequeñas como turbinas. En la figura 7a se ilustra una disposición típica de una rueda Pelton. La parte inferior de la figura ilustra la diferencia básica entre la turbina Turgo y una rueda Pelton. Otra forma de rueda de impulsos que puede utilizarse en aplicaciones de baja caída es la turbina de flujo transversal ilustrada en la figura 8.

illustrates the basic difference between a Turgo turbine and a Pelton wheel. Another form of impulse wheel which can be used in low-head applications is the cross flow turbine illustrated in Fig. 8.

In addition to the obvious physical differences between the designs, various types achieve maximum efficiency at different values of specific speed. This is illustrated in Fig. 9. Here we see that impulse turbines are efficient over a relatively narrow range of specific speed, whereas Francis and Propeller turbines have a wider useful range. As also illustrated, the relative size decreases with an increase in specific speed.

In addition, each type has different performance characteristics under partial load. As illustrated in Fig. 10, impulse and full Kaplan types can maintain good efficiency over a wide range of conditions, whereas a fixed propeller turbine is relatively inefficient below 75 per cent load.

**Distinction Between "Small and "Large" Turbines.** The distinction between "small" and "large" is a nebulous consideration. Low head



a) Turbina de reacción Allis-Chalmers,  $n_s = 26$ .

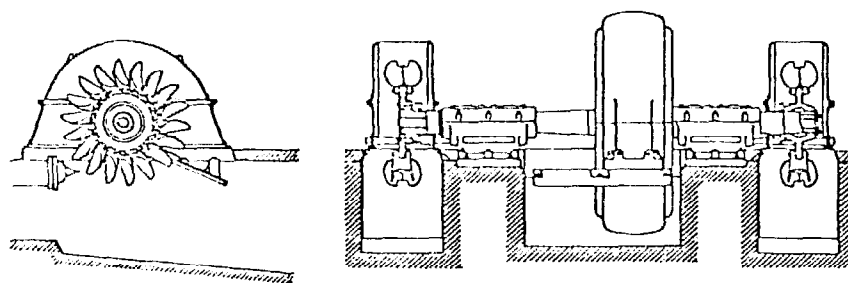
b) Turbina de reacción Newport News,  $n_s = 48$ .

a) Allis-Chalmers reaction turbine,  $n_s = 26$

b) Newport News reaction turbine,  $n_s = 48$

**Figura 6 Dos Ejemplos de la Turbina Francis**

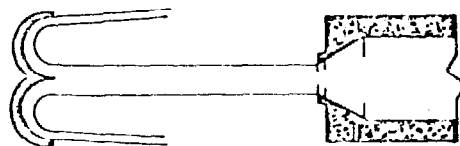
**Figure 6 Two Examples of Francis Turbine**



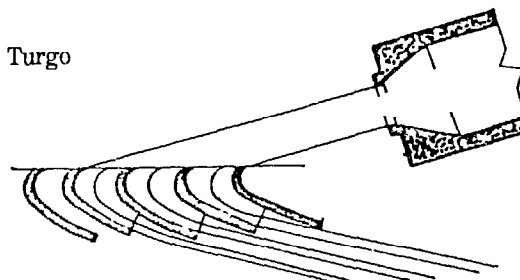
**Figura 7a Rueda de Impulsos de Montante Doble**

**Figure 7a Double-Overhung Impulse Wheel**

Pelton



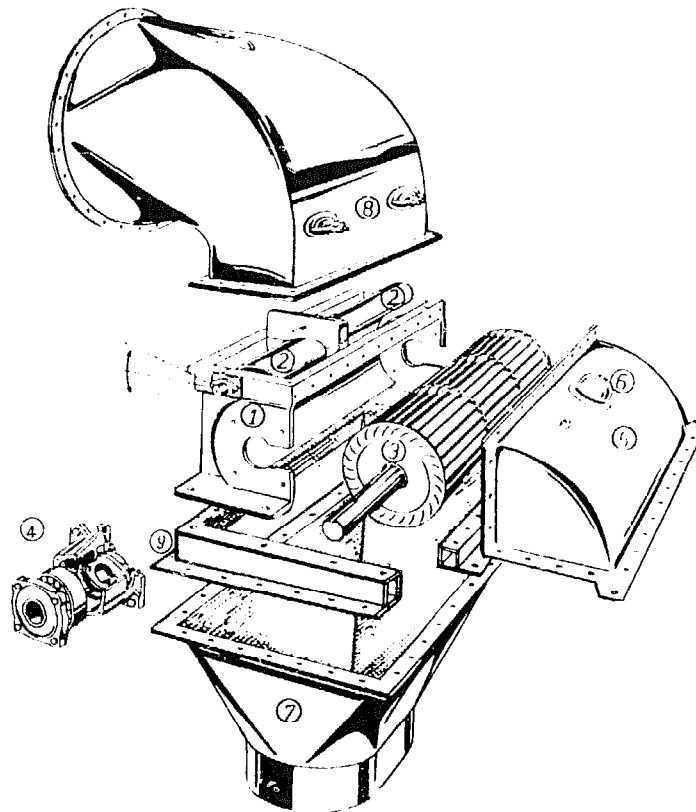
Turgo



**Figura 7b Contraste de las Turbinas Turgo y Pelton. El Chorro en la Turbina Turgo Golpea Continuamente Tres Cubos, Mientras que, en la Pelton, Sólo Golpea Uno. Un efecto Análogo de Incremento de la Velocidad Puede Obtenerse en la Turbina Pelton Añadiendo Uno o Dos Chorro Más.**

**Figure 7b Turgo and Pelton Turbines Contrasted. The Jet on the Turgo Strikes Three Buckets Continuously, Whereas on the Pelton it Strikes Only One. A Similar Speed Increasing Effect Can Be Had On the Pelton by Adding Another Jet or Two.**

1. encañillado
2. paletas de guía
3. rotor
4. rodamiento principal
5. encañillado de esquina
6. válvula de entrada del aire
7. tubo de aspiración
8. reductor



1. Casing
2. Guide vanes
3. Rotor
4. Main bearing
5. Corner casing
6. Air inlet valve
7. Draft tube
8. Reducer

**Figura 8 Turbina de Flujo Transversal Ossberger**  
**Figure 8 Ossberger Cross Flow Turbine**

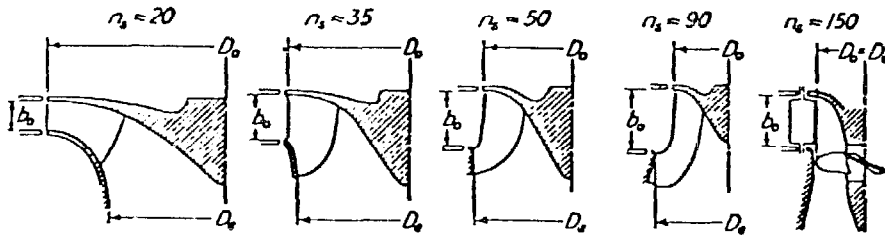
Además de las patentes diferencias físicas entre los diseños, varios tipos logran la eficiencia máxima con valores diferentes de velocidad específica. Esto se ilustra en la figura 9. Aquí vemos que las turbinas de impulsos son eficientes a través de una gama relativamente reducida de velocidades específicas, mientras que las turbinas Francis y las de hélice tienen una gama útil más amplia. Tal como se ilustra también, el tamaño relativo disminuye al aumentar la velocidad específica.

Además, cada clase tiene características de desempeño diferentes con una carga parcial. Tal como se ilustra en la figura 10, la turbina de impulsos y la turbina Kaplan completa pueden mantener una buena eficiencia a través de una amplia gama de condiciones, mientras que la turbina de hélice fija es relativamente ineficiente por debajo del 75 por ciento de carga.

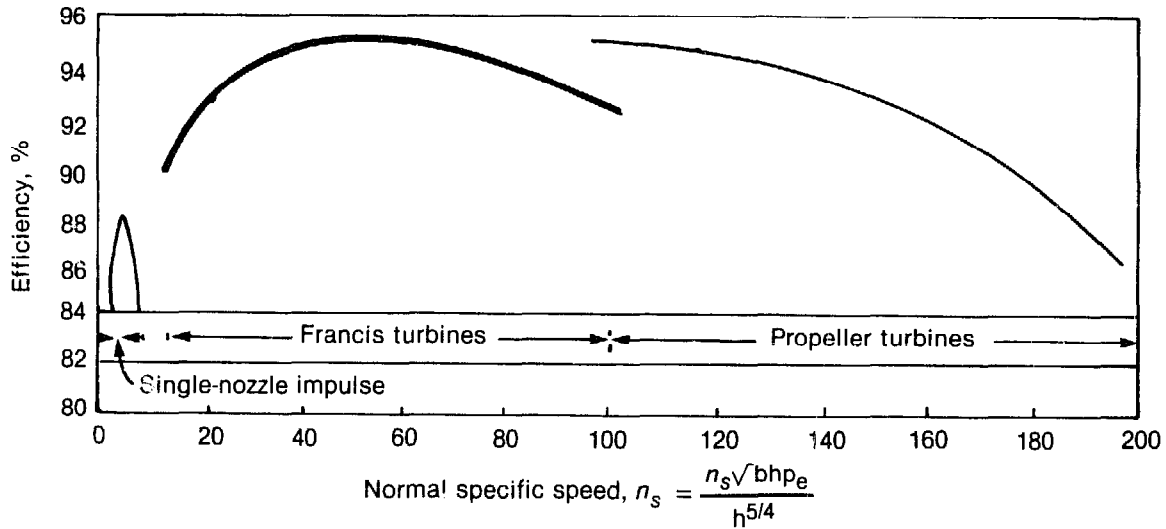
turbines are larger than high head turbines for a given power since they must pass more flow. On the other hand, small can mean low power, which is the definition used in this paper.

Basically, the technology for small and large turbines is the same. This is illustrated in Fig. 11. The types of turbines that would be useful at various combinations of head and desired power output are plotted over a range of head and power from 3 to 300 m and 10 kW to 1000 kW. The figure is constructed with the following assumptions; the rpm in the range 600 — 3600, direct drive, and the specific speed in the range of optimum efficiency for a given design. At constant  $n$  and  $n_s$ , the head is related to the power by

$$(26) \quad H \sim \left( \frac{n}{n_s} \right)^{4/5} (P)^{2/5}$$

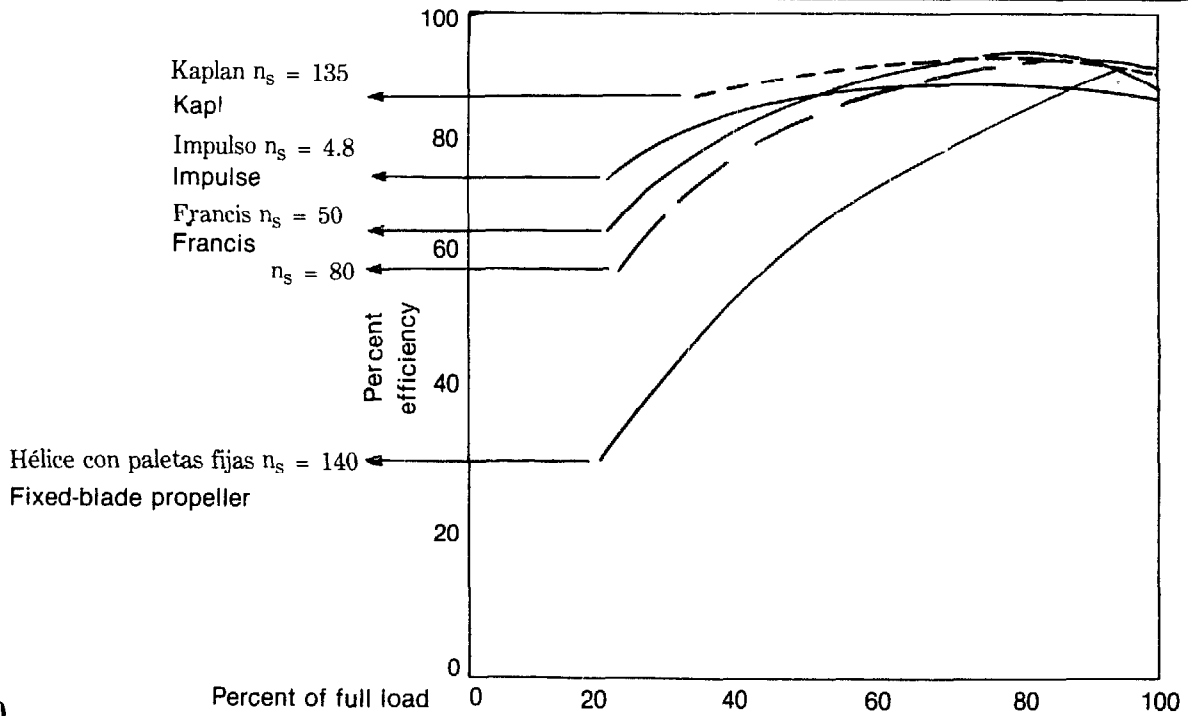


**Figura 9a** Perfiles de Rotores de Turbina para la Misma Caída y Potencia  
**Figure 9a** Turbine Runner Profiles for the Same Head and Power



**Figura 9b** Eficiencia de Distintas Clases de Turbinas

**Figure 9b** Efficiency of Various Types of Turbines



**Figura 10**

**Variación en la Eficiencia con Carga o Velocidad y Caída Constantes para las Diferentes Clases de Turbina**  
**Figure 10** Variation in Efficiency with Load at Constant Speed and Head for Different Turbine Types

## Distinción entre las Turbinas “Pequeñas” y “Grandes”

La distinción entre “pequeña” y “grande” es una consideración nebulosa. Las turbinas de baja caída son mayores que las turbinas de alta caída para una potencia dada ya que deben pasar más flujo. Por el contrario, “pequeño” puede significar poca potencia, que es la definición utilizada en este documento.

Fundamentalmente, la tecnología para las turbinas pequeñas y grandes es la misma. Esto se ilustra en la figura 11. Las clases de turbinas que serían útiles en distintas combinaciones de caída y potencia desea la setrazan en una gama de caídas y potencia de 3 a 300 m y 10 kW a 1000 kW. La cifra se basa en las siguientes hipótesis; rpm en la gama de 600 - 3600, conducción directa y la velocidad específica en la gama de eficiencia óptima para un determinado

Thus the upper limit represents maximum rpm (if possible without cavitation) and minimum  $n_s$ . The lower boundary is determined from the lowest rpm and maximum  $n_s$  without cavitating. Cavitation limits are based on a net positive draft head of one atmosphere.

It is readily evident that standard technology can be used in most applications of small to micro hydro with the exception of larger low head turbines. Figure 12 is a sample of what is commercially available. It is evident that a wide range of equipment is already being manufactured and that the designs used are optimized to match the state of the art of hydroturbine technology. This figure contains information available to the author at the time of writing. It should not be considered an accurate depiction

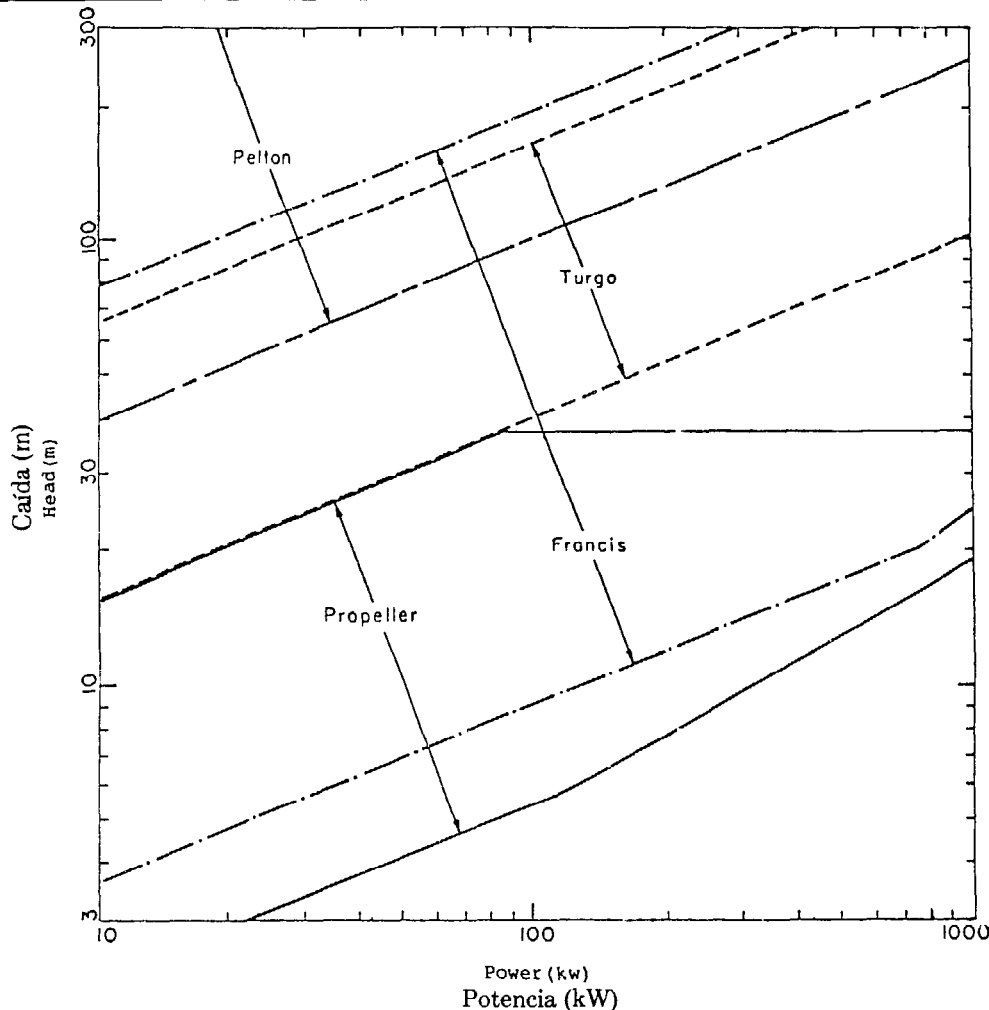
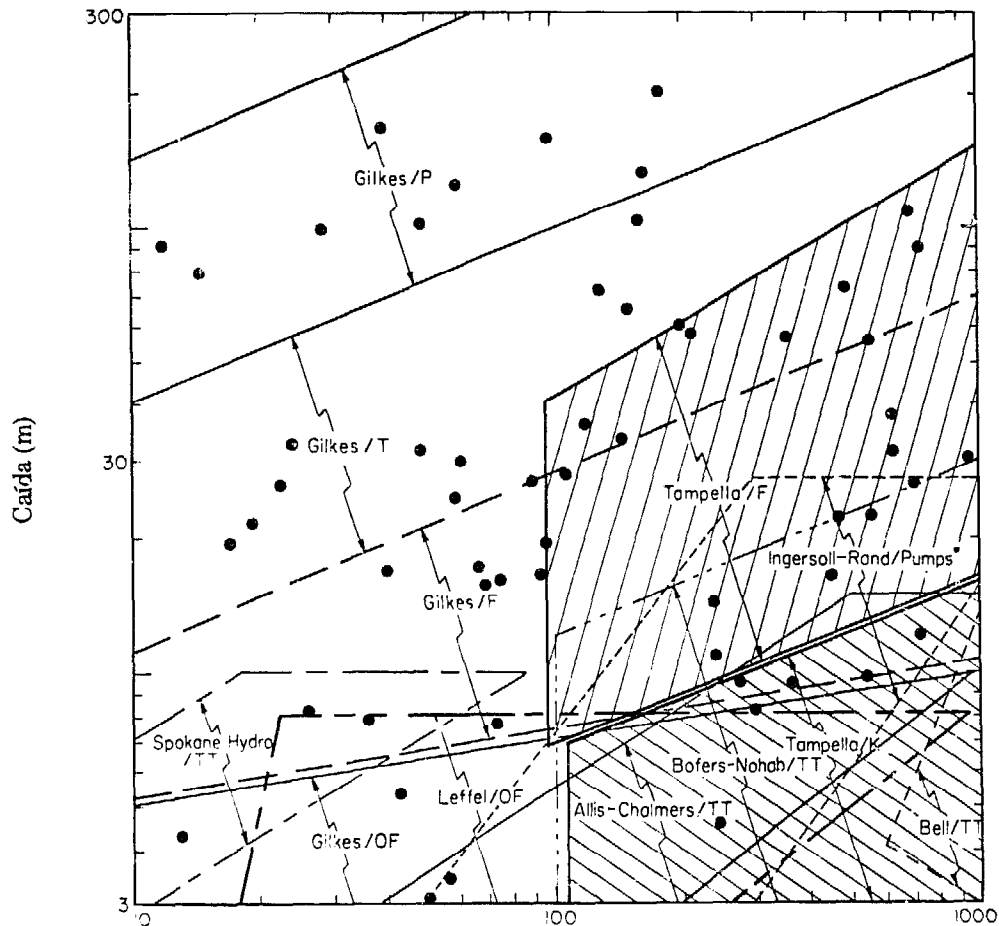


Figura 11 Gama de Aplicación de Distintas Clases de Turbinas Basadas en lo Ultimos Adelantos de la Tecnología (véase el texto donde se dan las definiciones).

Figure 11 Range of Application of Various Types of Turbines Based on State of the Art (see text for definitions.)





P Pelton

T Turgo

OF Francis de Chorro Abierto

● Aplicaciones de flujo transversal

\*En estudio, no se dispone de ellas comercialmente como turbinas

F Francis

TT Turbina de tubo

P — Pelton

T — Turgo

OF — Open Flume Francis  
— Crossflow Applications

F — Francis

TT — Tube Turbine

\* — Under Study, Not Commercially Available as Turbines

K — Kaplan

Figura 12 Turbinas Disponibles en el Mercado (Compárese con la Fig. 11)

Figure 12 Commercially Available Turbines (Compare with Fig. 11)

diseño. Con  $n$  y  $n_s$  constantes, la caída está relacionada con la potencia mediante:

$$(26) \quad H \sim \left(\frac{n}{n_s}\right)^{4/5} (P)^{2/5}$$

Así, pues, el límite superior representa rpm máximas (si es posible sin cavitación) y  $n_s$  mínima. El límite inferior se determina a partir de las rpm más bajas y  $n_s$  máxima sin cavitación. Los límites de

of the total product line of all manufacturers. Because of the potential interest, the projected performance of a line of Ingersoll-Rand pumps operating as turbines is also included.

Accurate performance data is usually not available in smaller sizes. In fact, model tests are usually not performed for turbines smaller than about 5-10 MW. As an example, consider a 500 rpm, 15 MW turbine operating at its design point with an efficiency of 92 per cent under a 100 m

cavitación se basan en una caída neta de aspiración positiva de una atmósfera.

Se ve fácilmente que la tecnología estándar puede utilizarse en la mayoría de las aplicaciones de las pequeñas y micro centrales hidroeléctricas, con excepción de las turbinas mayores de baja caída. La figura 12 es una muestra de lo que se dispone en el mercado. Es evidente que ya se está fabricando una amplia gama de equipo y que los diseños utilizados son optimizados para mantenerse a la altura de los últimos adelantos de la tecnología de las hidroturbinas. Esta figura contiene información que estuvo al alcance del autor en la fecha en que escribió este informe. No debería considerarse como una descripción precisa de toda la línea de productos de la totalidad de los fabricantes. Debido al posible interés, se ha de incluir también el desempeño proyectado de una línea de bombas Ingersoll-Rand que funcionan como turbinas.

De ordinario, no se dispone de datos precisos sobre el desempeño para los tamaños más pequeños. En realidad, las pruebas con modelos no se realizan generalmente con las turbinas más pequeñas de unos 5-10 MW. A título de ilustración, consideren una turbina de 500 rpm, de 15 MW, que opera en su punto de diseño con una eficiencia de 92 por ciento bajo una caída de 100m. El mismo diseño podría reducirse en escala hasta 500 kW a 1200 rpm y una caída de 50m. Puesto que su especificidad es constante, el tamaño, la velocidad, y la caída variarán conforme a la fórmula

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{n_2^2 D_2^2}$$

Así,  $D_1/D_2 = 5.88$ . El cambio en la eficiencia puede pronosticarse utilizando la ecuación Mooney a la inversa (ecuación Mooney descendente, se podría decir):

$$\frac{2 - \eta_2}{1 - \eta_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{1/5}$$

o  $\eta_2 = 88.5\%$ . Descendiendo en escala alcanzar tamaños menores se obtendrían reducciones más espectaculares en la eficiencia. Esto ocurre sólo para las turbinas de reacción en las que las pérdidas por escape y fricción son desproporcionadamente más elevadas en los tamaños más pequeños.

La fórmula Mooney no es aplicable a las ruedas de impulsos. Debido a la naturaleza de su diseño, las turbinas de impulsos tienden a retener su eficiencia a medida que se las reduce en escala. Esta es una consideración importante al seleccionar entre una pe-

head. The same design could be scaled down to 500 kW at 1200 rpm and 50 m head. Since the specific is constant, the size, speed, and head will vary according to

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{n_2^2 D_2^2}$$

Thus  $D_1/D_2 = 5.88$ . The change in efficiency can be predicted by using the Mooney step-up equation in reverse (a Mooney step-down equation, if you will):

$$\frac{2 - \eta_2}{1 - \eta_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{1/5}$$

or  $\eta_2 = 88.5\%$ . Scaling down to smaller sizes would show even more dramatic reductions in efficiency. This is true only for reaction turbines in which leakage and frictional losses are disproportionately higher in the smaller sizes.

The Mooney formula is not applicable to impulse wheels. By the nature of their design, impulse turbines tend to retain their efficiency as they are scaled down in size. This is an important consideration when choosing between a small reaction turbine and a small impulse turbine.

### Performance Characteristics

**Impulse Wheels.** Typical types of impulse wheels are illustrated in Figs. 7 and 8. A typical installation is presented in Fig. 13. The optimization of a given installation is a two step process. First, the power available in the jet is optimized;

$$(27) \quad P_j = \gamma Q \frac{V_j^2}{2g} = \gamma \pi d_j^2 \frac{V_j^3}{8g}$$

The power available will vary with  $d_j$  and the penstock arrangement since losses in the penstock increase with  $Q$  and reduce the value of  $V_j$ . A typical variation of  $P_j$  with  $d_j$  is plotted in Fig. 13.

Of the head available at the nozzle inlet, a small portion is lost to friction in the nozzle and to friction on the buckets. The rest is available to drive the wheel. The actual utilization of this head depends on the velocity head of the flow leaving the turbine and the setting above tailwater. Optimum conditions corresponding to maximum utilization of the head available dictate

queña turbina de reacción y una pequeña turbina de impulsos.

### Características de Desempeño

**Ruedas de Impulsos.** Los tipos típicos de ruedas de impulsos se ilustran en las figuras 7 y 8. Una instalación típica se presenta en la figura 13. La optimización de cualquier instalación dada, es un proceso de dos pasos. Primero se optimiza la potencia disponible del chorro;

$$(27) \quad P_j = \gamma Q \frac{V_j^2}{2g} = \gamma \pi d_j^2 \frac{V_j^3}{8g}$$

that the flow leave at essentially zero velocity. Under ideal conditions, this occurs when the peripheral speed of the wheel is one-half the jet velocity. In practice, optimum power occurs at speed coefficient  $\phi$  somewhat less than 0.5. Where

$$(28) \quad \phi = \frac{u_1}{\sqrt{2gH}}$$

In fact, best efficiency will occur when  $\phi \cong C_v/2$  where  $C_v$  is the velocity coefficient for the nozzle

$$(29) \quad C_v \equiv \frac{V_j}{\sqrt{2gH}}$$

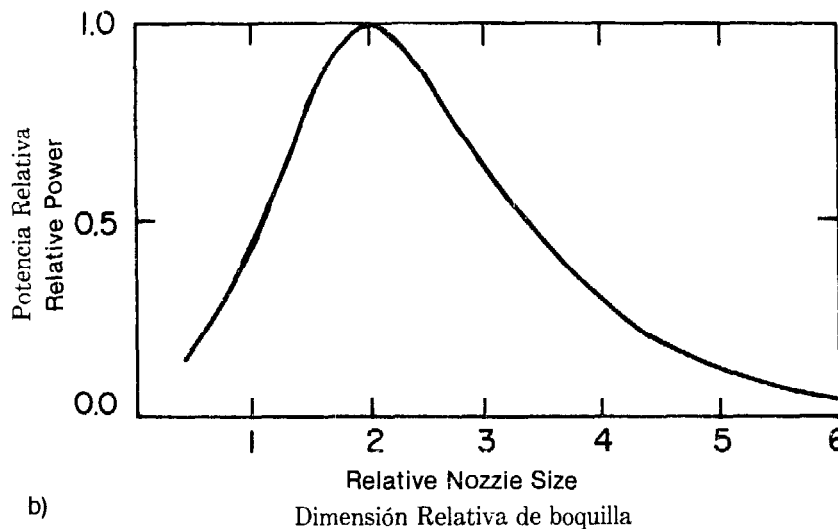
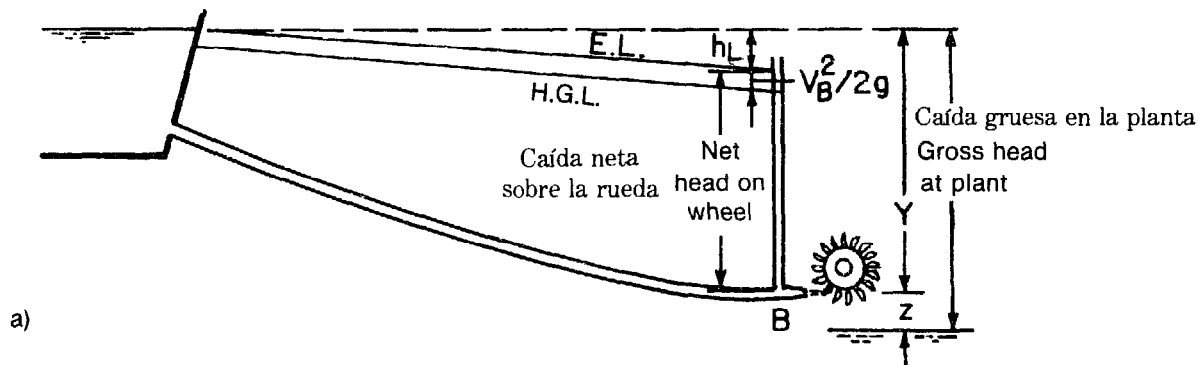


Figura 13 Instalación de Rueda Pelton  
Figure 13 Pelton Wheel Installation

La fuerza disponible variará con  $d_j$  y la disposición del canal de toma ya que las pérdidas en el canal de toma aumentan con  $Q$  y reducen el valor de  $V_j$ . Una variación típica de  $P_j$  con  $d_j$  se traza en la figura 13.

De la caída disponible en la entrada de la boquilla, se pierde una pequeña porción debido a la fricción en la boquilla y a la fricción en los cubos. El resto se utiliza para accionar la rueda. La utilización real de esta caída depende de la velocidad de la caída del flujo que sale de la turbina y del regloje por encima del agua de descarga. Las condiciones óptimas que corresponden a la utilización máxima de la caída disponible dictan que el flujo salga esencialmente a una velocidad cero. En condiciones ideales, esto ocurre cuando la velocidad periférica de la rueda es la mitad de la velocidad del chorro. En la práctica, la fuerza óptima ocurre a un coeficiente de velocidad  $\phi$  algo inferior a 0,5. Donde

$$(28) \quad \phi = \frac{u_1}{\sqrt{2gH}}$$

En realidad, la mejor eficiencia ocurrirá cuando  $\phi \cong C_v/2$  donde  $C_v$  es el coeficiente de velocidad para la boquilla

$$(29) \quad C_v \equiv \frac{V_j}{\sqrt{2gH}}$$

Puesto que la eficiencia máxima ocurre con una velocidad fija para la  $H_j$  fijo, la  $V_j$  ha de permanecer constante en diferentes condiciones de flujo. Así, pues, la tasa de flujo  $Q$  se regula mediante un inyector ajustable. Hay alguna variación en  $C_v$  con la regulación, y la eficiencia máxima ocurre a valores ligeramente inferiores de  $\phi$  con reglajes de fuerza parcial. Sin embargo, la actual tecnología de los inyectores es tal que  $Q$  puede regularse a través de una gama más amplia con una eficiencia elevada.

Una determinada configuración de la caída y canal de toma establece la velocidad y diámetro óptimos del chorro. El tamaño de la rueda determina la velocidad de la máquina. Para una rueda de un diámetro  $D$ , la velocidad en radianes por segundo es

$$(30) \quad \psi = \frac{2u_1}{D}$$

o

$$(31) \quad \psi = \frac{2\phi}{D} \sqrt{2gH}$$

Since maximum efficiency occurs at fixed speed for fixed  $H_j$ ,  $V_j$  must remain constant under varying flow conditions. Thus flow rate  $Q$  is regulated with an adjustable nozzle. There is some variation in  $C_v$  with regulation and maximum efficiency occurs at slightly lower values of  $\phi$  under partial power settings. Nonetheless, present nozzle technology is such that  $Q$  can be regulated over a wide range at high efficiency.

A given head and penstock configuration establishes the optimum jet velocity and diameter. The size of the wheel determines the speed of the machine. For a wheel of diameter  $D$ , the speed in radians per second is

$$(30) \quad \psi = \frac{2u_1}{D}$$

or

$$(31) \quad \psi = \frac{2\phi}{D} \sqrt{2gH}$$

Noting that power  $P$  is

$$(32) \quad P = \eta\gamma QH$$

where  $\eta$  is efficiency and the flow rate  $Q$  is given by

$$(33) \quad Q = V_j \frac{\pi d_j^2}{4} = C_v \sqrt{2gH} \frac{\pi d_j^2}{4}$$

the specific speed of the machine is then

$$(34) \quad N_s = 2^{1/4} \sqrt{2\pi\eta C_v \phi} \frac{d_j}{D}$$

or approximately

$$(35) \quad N_s = 1.3 \frac{d_j}{D}$$

Thus, the specific speed is approximately 1.3 times the ratio of jet diameter to wheel diameter. Practical values of  $d_j/D$  for Pelton wheels are in the range 0.04 to 0.1; implying  $N_s$  in the range 0.05 to 0.13 (10 to 25 metric units). In Turgo turbines the relative wheel diameter can be half that of a Pelton wheel resulting in specific speeds approximately twice that of the conventional design. Higher specific speeds are possible with

Advirtiendo que la potencia  $P$  es

$$(32) \quad P = \eta \gamma Q H$$

donde  $\eta$  es la eficiencia y la tasa de flujo  $Q$  la produce:

$$(33) \quad Q = V_j \frac{\pi d_j^2}{4} = C_v \sqrt{2gH} \frac{\pi d_j^2}{4}$$

entonces la velocidad específica de la máquina es

$$(34) \quad N_s = 2^{1/4} \sqrt{2\pi\eta C_v \phi} \frac{d_j}{D}$$

o, aproximadamente,

$$(35) \quad N_s = 1.3 \frac{d_j}{D}$$

Así, pues, la velocidad específica es, aproximadamente, 1,3 veces la relación del diámetro del chorro al diámetro de la rueda. Los valores prácticos de  $d_j/D$  para las ruedas Pelton oscilan entre 0,04 y 0,1, lo que significa que  $N_s$  estará en la gama de 0,05 a 0,13 (10 a 25 en unidades métricas). En las turbinas Turgo, el diámetro relativo de la rueda puede ser la mitad que el de una rueda Pelton, lo que produce velocidades específicas de aproximadamente el doble, de las de diseño convencional. Son posibles velocidades específicas más elevadas con diseños de inyectores múltiples. El aumento es proporcional a la raíz cuadrada del número de inyectores.

**Turbinas de Reacción.** La principal diferencia entre las ruedas de impulsos y las turbinas de reacción se debe a que en los pasajes de rotación se produce una reducción de la presión. Esto significa que todo el pasaje del flujo desde la entrada de la turbina a la descarga en el agua de descarga el tubo ha de estar completamente lleno. En la figura 6 se ilustran rotores típicos de turbina.

La gama de velocidades específicas para los ruedos de reacción es mucho más amplia que para los rueda de impulsos. A continuación esbozamos una instalación típica. (Figura 14)

La principal diferencia radica en la galería de succión que se considera como una parte integral de la máquina. Sus principales funciones consisten en permitir la instalación de la turbina por encima del agua de descarga sin reducir la caída neta y reducir la pérdida de la caída en la descarga sumergida mediante la difusión del flujo que sale de la turbina.

multiple nozzle designs. The increase is proportional to the square root of the number of nozzles.

**Reaction Turbines.** The main difference between impulse wheels and reaction turbines is the fact that a pressure drop takes place in the rotating passages. This implies that the entire flow passage from turbine inlet to discharge at the tailwater must be completely filled. Typical turbine runners are illustrated in Fig. 6.

The specific speed range for reaction wheels is much broader than for impulse wheels. A typical installation is sketched. (Figure 14)

The main difference is the draft tube which is considered an integral part of the machine. Its main functions are to allow a turbine setting above the tailwater without a reduction in net head and to reduce the head loss at the submerged discharge by diffusing the flow leaving the turbine.

In an impulse wheel, the head represented by setting the turbine above the tailwater is lost, but, since impulse wheels are generally operated at high head, this represents a small fraction of the total head available. Referring to the diagram, the head available to the runner is

$$(36) \quad H' = H - k_D \underbrace{\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}}_{\text{Diffuser Loss}} - \underbrace{\frac{(V_2 - V_0)^2}{2g}}_{\text{Sudden Enlargement}}$$

Basically two losses are associated with the draft tube; viscous losses within the draft tube associated with flow diffusion and external mixing losses associated with the discharge into the tailwater. Obviously, the first loss can be minimized by reducing the amount of diffusion at the expense of increased outlet losses.

As an illustration of the design and operation of turbines for constant speed, refer again to Fig. 1. The pivoted guide vanes allow for control of the magnitude and direction of  $V_1$ , ie.  $V_1$  and  $\alpha_1$ . The relationship between blade angle, inlet velocity, and peripheral speed is

$$(37) \quad \cot \beta_1 = \frac{V_1 \cos \alpha_1 - u_1}{V_1 \sin \alpha_1}$$

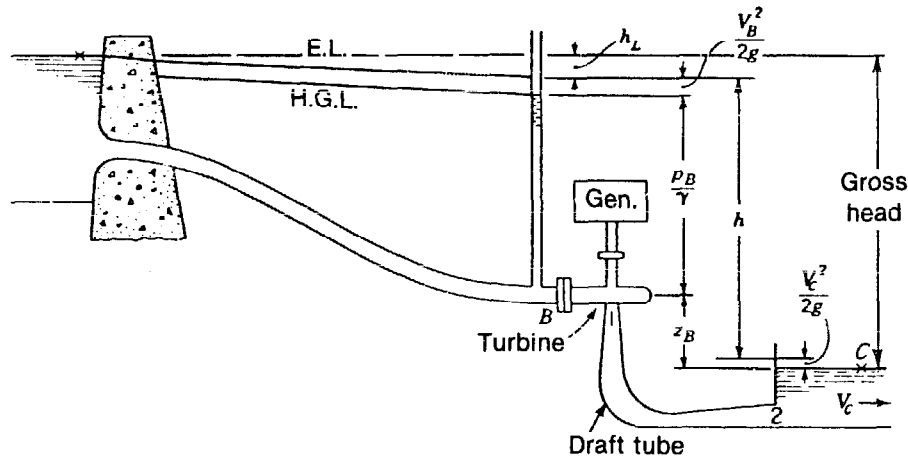


Figura 14 Definición de Caída Neta  
Figure 14 Definition of Net Head

En una rueda de impulsos, el salto representado por el reglaje de la turbina por encima del agua de descarga se pierde, pero puesto que las ruedas de impulsos se operan generalmente con caídas elevadas, esto representa una pequeña fracción de la caída total disponible. Con referencia al diagrama, la caída disponible para el rotor es el siguiente:

$$(36) \quad H' = H - k_D \underbrace{\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}}_{\text{Pérdida del Difusor}} - \underbrace{\frac{(V_2 - V_C)^2}{2g}}_{\text{Ampliación Repentina}}$$

Básicamente, las galerías de succión producen dos pérdidas: las pérdidas viscosas dentro de la galería de succión asociadas con la difusión del flujo y las pérdidas de combinación externa asociadas con la descarga al agua de descarga.

Evidentemente, la primera pérdida puede minimizarse reduciendo la cantidad de difusión a expensas de mayores pérdidas en la salida.

Como ilustración del diseño y operación de las turbinas para obtener velocidad constante, les remitimos de nuevo a la figura 1. Las paletas de guía basculadas permiten controlar la magnitud y dirección de  $V_1$ , es decir  $|V_1|$  y  $\alpha_1$ . La relación entre el ángulo de las hélices, la velocidad de entrada y la velocidad periférica es la siguiente:

$$(37) \quad \cot \beta_1 = \frac{V_1 \cos \alpha_1 - u_1}{V_1 \sin \alpha_1}$$

Without the ability to vary the blade angle, it is obvious that (37) cannot be completely satisfied at partial flow. This is the distinction between the partial power efficiency of fixed propeller and Francis types and the fully-adjustable Kaplan design.

The hydraulic efficiency is defined as the theoretical head across the runner divided by the head available. Using the Euler equation, 5:

$$(38) \quad \eta_H = \frac{H'}{H} = \frac{u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2}{gH}$$

With the following definitions

$$(39) \quad V_1 = C_1 \sqrt{2gH} \quad \left\{ \begin{array}{l} C_1 \text{ is similar to} \\ C_v \text{ in the Pelton wheel} \end{array} \right.$$

$$(40) \quad V_2 = C_2 \sqrt{2gH}$$

$$(41) \quad u_1 = \phi \sqrt{2gH}$$

the hydraulic efficiency can be written in terms of non-dimensional coefficients

$$(42) \quad \eta_H = 2\phi(C_1 \cos \alpha_1 - \frac{V_2}{V_1} C_2 \cos \alpha_2)$$

Sin la capacidad de variar el ángulo de las hélices, es evidente que (37) no puede satisfacerse completamente con flujo parcial. Esta es la diferencia entre la eficiencia parcial de fuerza de una hélice fija y los tipos Francis, y el diseño Kaplan totalmente ajustable.

La eficiencia hidráulica se define como la caída teórico a través del rotor dividido por la caída disponible. Utilizando la ecuación Euler, 5:

$$(38) \quad \eta_H = \frac{H'}{H} = \frac{u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2}{gH}$$

Con las definiciones siguientes

$$(39) \quad V_1 = C_1 \sqrt{2gH} \left\{ \begin{array}{l} C \text{ es análoga a } C_v \text{ en la} \\ \text{rueda Pelton} \end{array} \right\}$$

$$(40) \quad V_2 = C_2 \sqrt{2gH}$$

$$(41) \quad u_1 = \phi \sqrt{2gH}$$

la eficiencia hidráulica puede formularse en términos de coeficientes no dimensionales

$$(42) \quad \eta_H = 2\phi(C_1 \cos \alpha_1 - \frac{V_2}{V_1} C_2 \cos \alpha_2)$$

La eficiencia hidráulica óptima ocurriría cuando  $\alpha_2$  es igual a  $\pi/2$ . Sin embargo, la eficiencia general de la turbina depende del desempeño óptimo de la galería de succión que ocurre con un pequeño remolino en el flujo. Así, pues, la mejor eficiencia general ocurre con  $\alpha_2 = 85^\circ$  para las turbinas Francis de baja velocidad específica a  $\alpha_2 = 75^\circ$  con una alta velocidad específica. La eficiencia hidráulica es aproximadamente

$$(43) \quad \eta_H = 2\phi C_1 \cos \alpha_1$$

Con  $\alpha_1$  en la gama de 10 a  $25^\circ$  y  $C \sim 0,6$ , la velocidad del coeficiente,  $\phi$ , es de 0,8, aproximadamente, en comparación con algo menos de 0,5 para la turbina de impulsos. Adviértase también que  $C_1 \cong 0,6$  implica que sólo 40 por ciento de la caída disponible se convierte a velocidad de la caída en la entrada de la turbina en comparación con 100 por ciento para la rueda de impulsos. Adviértase también que la Ecuación (43) concuerda con el desempeño de la rueda de impulsos donde  $C_1$  y  $\cos \alpha_1$  son aproximadamente la unidad y el coeficiente de velocidad es del orden de 0,5.

Optimum hydraulic efficiency would occur when  $\alpha_2$  is equal to  $\pi/2$ . However, overall efficiency of the turbines dependent on the optimum performance of the draft tube which occurs with a little whirl in the flow. Thus, best overall efficiency occurs with  $\alpha_2 = 85^\circ$  for low specific speed Francis turbines to  $\alpha_2 = 75^\circ$  at high specific speed. The hydraulic efficiency is approximately

$$(43) \quad \eta_H = 2\phi C_1 \cos \alpha_1$$

With  $\alpha_1$  in the range of  $10^\circ$  to  $25^\circ$  and  $C_1 \sim 0.6$ , the speed of coefficient,  $\phi$ , is approximately 0.8 compared with a little less than 0.5 for an impulse turbine. Note also that  $C_1 \cong 0.6$  implies that only 40 per cent of the available head is converted to velocity head at the turbine inlet compared with 100 per cent for the impulse wheel. Note also that Eq. (43) is consistent with an impulse wheel's performance where  $C_1$  and  $\cos \alpha_1$  are approximately unity and the speed coefficient is of order 0.5.

The rationale for optimum specific speed in a reaction turbine is more complex since there are more variables. For a radial flow machine (refer to Fig. 3), a somewhat simple expression can be derived. The radial inflow is

$$(44) \quad V_R = C_1 \sin \alpha_1 \sqrt{2gH}$$

Similarly, the flow rate, speed, and power is

$$(45) \quad Q = V_R A_c = C_1 \sin \alpha_1 \sqrt{2gH} \left\{ f_b \pi D^2 \frac{B}{D} \right\}$$

$$(46) \quad \psi = \frac{2\phi \sqrt{2gH}}{D}$$

$$(47) \quad P = \eta g Q H$$

where  $f_b$  is percentage of open space in the inlet passages. Combining Eqs. (45) through (47) yields an expression for specific speed

$$(48) \quad N_s = 2^{5/4} (2\pi f_b C_1 \sin \alpha_1 \frac{B}{D})^{1/2} \phi$$

or approximately

$$(49) \quad N_s = 5.5 (C_1 \sin \alpha_1 \frac{B}{D})^{1/2} \phi$$

Using standardized design charts for Francis turbines,<sup>4</sup>  $N_s$  is normally found to be in the range 0.3 to 2.5 (58 to 480 in metric units).

### Cavitation

Cavitation can be defined as the formation of the vapor phase in a flow when the

Las razones para la velocidad específica óptima en la turbina de reacción son más complejas ya que hay más variables. Para una máquina de flujo radial (les remitimos a la figura 3), puede obtenerse una expresión algo más simple. El influjo radial es

$$(44) \quad V_R = C_1 \sin \alpha_1 \sqrt{2gH}$$

Análogamente, la tasa de flujo, velocidad y potencia son

$$(45) \quad Q = V_R A_C = C_1 \sin \alpha_1 \sqrt{2gH} \left\{ f_b \pi D^2 \frac{B}{D} \right\}$$

$$(46) \quad \psi = \frac{2\phi \sqrt{2gH}}{D}$$

$$(47) \quad P = \eta \rho g Q H$$

donde  $f_b$  es el porcentaje de espacio abierto en los pasajes de entrada. Combinando las ecuaciones (45) a (47), obtenemos la expresión para la velocidad específica

$$(48) \quad N_s = 2^{5/4} (2\pi f_b C_1 \sin \alpha_1 \frac{B}{D})^{1/2} \phi$$

o, aproximadamente,

$$(49) \quad N_s = 5.5 (C_1 \sin \alpha_1 \frac{B}{D})^{1/2} \phi$$

Utilizando cuadros de diseño normalizados para las turbinas Francis,<sup>4</sup>  $N_s$  cal normalmente en la gama de 0,3 a 2,5 (58 a 480 en unidades métricas).

### Cavitación

La cavitación puede definirse como la formación de la fase de vapor en un flujo cuando la presión local desciende por debajo de la presión del vapor del líquido a temperatura de volumen.<sup>6, 7</sup> En sus etapas iniciales, la cavitación se produce en forma de burbujas individuales que se mueven con el flujo a las regiones de más altas presión y se desploman. Las presiones de desplome son tan intensas que se produce ruido, vibración y erosión de las superficies del metal. Cuando ocurre la cavitación a través de una porción grande del rotor de la turbina, puede ocurrir una merma en el desempeño. Normalmente, la cavitación no representa un problema con las ruedas de impulsos. Sin embargo, debido a la naturaleza intrínseca de su operación, la cavitación es una importante consideración para las instalaciones de turbinas de reacción.

La susceptibilidad de que ocurra cavitación es una función de la instalación y el diseño de la turbina.

local pressure falls below the vapor pressure of the liquid at bulk temperature.<sup>6,7</sup> In its initial stages cavitation is in the form of individual bubbles which move with the flow into regions of higher pressure and collapse. The collapse pressures are so intense that noise, vibration, and erosion of metal surfaces ensues. When cavitation occurs over a large portion of the turbine runner, reduced performance can occur. Cavitation is not normally a problem with impulse wheels. However, by the very nature of their operation, cavitation is an important consideration for reaction turbine installations.

The susceptibility for cavitation to occur is a function of the installation and the turbine design. This can be expressed conveniently in terms of Thoma's sigma

$$(50) \quad \sigma_T = \frac{H_{Dv}}{H}$$

wherein  $H_{Dv}$  is the net positive draft head and  $H$  is the head available. The critical value of  $\sigma_T$  is a function of specific speed as illustrated in Fig. 15.

As the specific speed increases, the critical value of  $\sigma_T$  increases dramatically. For minimization of cavitation problems, the plant  $\sigma_T$  must be in excess of the critical  $\sigma_T$  denoted on the chart. This can have important implications for turbine settings and amount of excavation. This is easily seen by referring to Fig. 14. An energy equation between the turbine outlet and the tailwater can be written

$$(51) \quad \frac{P_1}{\gamma} + z_B + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + H_L$$

wherein  $H_L$  is the head losses between the inlet and discharge of the draft tube. This can be rewritten as

$$(52) \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma} = H_{Dv} = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + H_L - z_B$$

wherein  $p_v$  is the vapor pressure. The critical value of  $H_{Dv}$  occurs when  $p_1 = p_v$  or  $H_{Dv} = v_1^2/2g$  or when all the head available on the suction side is in the form of velocity head.  $H_{Dv}$  is approximately

$$(53) \quad H_{Dv} \cong \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - z_B$$



Esto puede expresarse cómodamente en términos del sigma de Thomas

$$(50) \quad \sigma_T = \frac{H_{Dv}}{H}$$

donde  $H_{Dv}$  es la caída neta de succión positiva y  $H$ , la caída disponible. El valor crítico de  $\sigma_T$  es una función de la velocidad específica, tal como se ilustra en la figura 15.

thus the maximum turbine setting above tailwater is

$$(54) \quad z_{B_{max}} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - \sigma_{TC} H$$

wherein  $\sigma_{TC}$  is obtained from Fig. 15.  $z_{B_{max}}$  can be negative implying that the turbine must be set *below* the tailwater elevation.

As an example, consider a 500 kW machine operating at 500 rpm under a head of 10 meters.

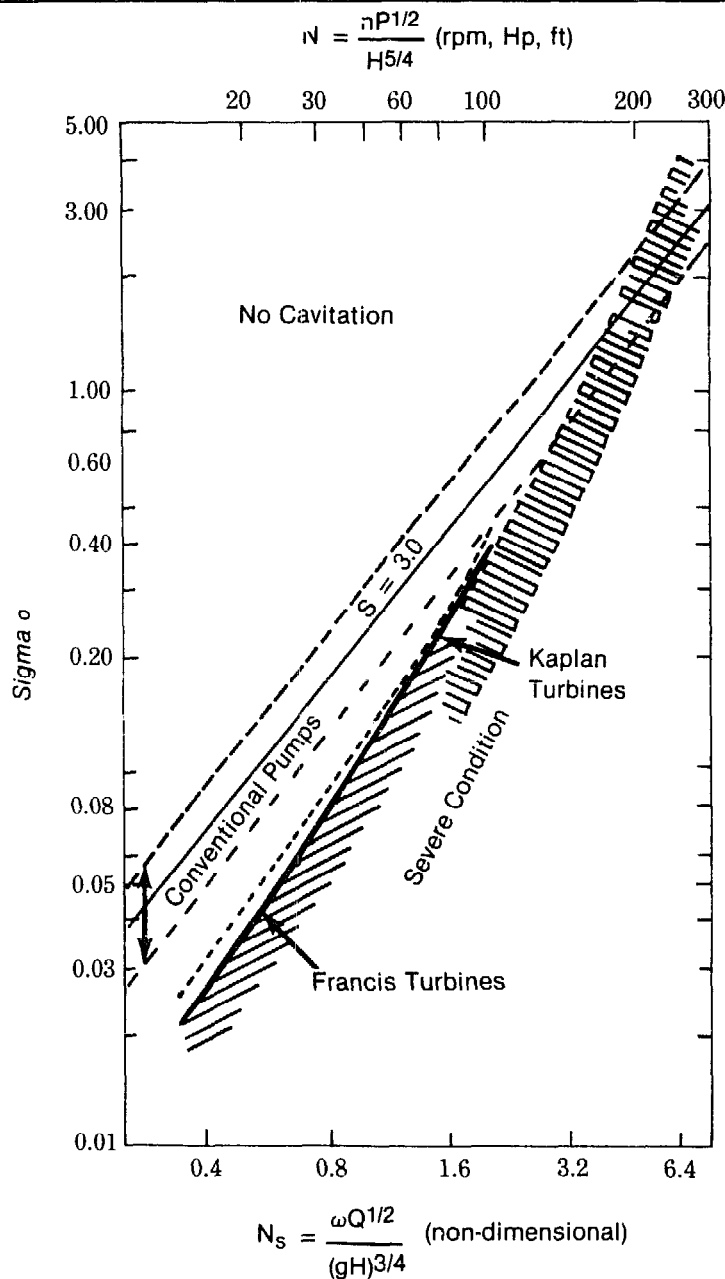


Figura 15 Índice de Cavitación como Función de la Velocidad Específica  
Figure 15 Cavitation Index as a Function of Specific Speed

A medida que aumenta la velocidad específica, los valores críticos de  $\sigma_T$  aumentan espectacularmente. Para minimizar los problemas de la cavitación, la planta  $\sigma_T$  ha de exceder la  $\sigma_T$  crítica denotada en el cuadro. Esto puede tener repercusiones importantes para la instalación de la turbina y la cantidad de excavación que habrá que efectuar. Esto puede verse fácilmente refiriéndose a la figura 14. Se puede formular una ecuación de energía entre la salida de la turbina y el agua de descarga

$$(51) \quad \frac{P_1}{\gamma} + z_B + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + H_L$$

donde  $H_L$  son las pérdidas de la caída entre la entrada y la descarga de la galería de succión. Esto puede reformularse de la siguiente manera:

$$(52) \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma} = H_{Dv} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + H_L - z_B$$

donde  $p_v$  es la presión del vapor. El valor crítico de  $H_{Dv}$  ocurre cuando  $P_1 = P_v$  o  $H_{Dv} = V_1^2/2g$  o cuando toda la caída disponible en el lado de la succión está presente en forma de caída de velocidad.  $H_{Dv}$  es aproximadamente

$$(53) \quad H_{Dv} \cong \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - z_B$$

así, pues, el reglaje máximo de la turbina por encima del agua de descarga es

$$(54) \quad z_{B_{max}} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \sigma_{Tc} H$$

donde  $\sigma_{Tc}$  se obtiene a partir de la figura 15.  $z_{B_{max}}$  puede ser un valor negativo, lo que significa que la turbina ha de instalarse por debajo de la elevación del agua de descarga.

A título de ejemplo, consideren una máquina de 500 kW que opera a 500 rpm bajo una caída de 10 metros. La velocidad específica es de 3,8. Esta será una turbina de flujo axial que tiene una  $\sigma_T$  crítica de 0,9 aproximadamente. Al nivel del mar, el reglaje máximo de la turbina sería

$$z_{Bm} = 10 - 0.09 - (0.9 \times 10) = 1 \text{ meter}$$

Si se instalara la misma turbina en el lugar de esta conferencia (Quito, Ecuador, elevación  $\sim 3000$  m), el

The specific speed is 3.8. This will be an axial flow turbine having a critical  $\sigma_T$  of about 0.9. At sea level, the maximum turbine setting would be  $z_{Bm} = 10 - 0.09 - (0.9 \times 10) = 1 \text{ meter}$

If the same turbine was installed at the site of this conference (Quito, Ecuador, elevation  $\sim 3000$  m), the maximum turbine setting would be

$$z_B = 6.7 - 0.09 - (0.9 \times 10) = -2.3 \text{ meters}$$

Considerable excavation would be necessary. Thus, cavitation can be an important consideration.

### Speed Regulation

The speed regulation of a turbine is an important and complicated problem. The magnitude of the problem varies with size, type of machine and installation, type of electrical load, and whether or not the plant is tied into an electrical grid. It should also be kept in mind that runaway or no-load speed can be higher than the design speed by factors as high as 2.5. This is an important design consideration for all rotating parts, including the generator.

It is beyond the scope of this paper to discuss the question of speed regulation in detail. However, some mention of this should be made since much of the technology is derived from large units. The cost of standard governors is thus disproportionately high in the smaller sizes. Regulation of speed is normally accomplished through flow control. Adequate control requires sufficient rotational inertia of the rotating parts. When load is rejected, power is absorbed, accelerating the flywheel and, when load is applied, some additional power is available from deceleration of the flywheel. Response time of the governor must be carefully selected since rapid closing time can lead to excessive pressures in the penstock.

A Francis turbine is controlled by opening and closing the guide vanes which vary the flow of water according to the load. A powerful governor is required to overcome the hydraulic and frictional forces and to maintain the guide vanes in fixed position under steady load. On the other hand, impulse turbines are more easily controlled. This is due to the fact that the jet can be deflected or an auxiliary jet can bypass flow from the power producing jet without changing the flow rate in the penstock. This permits long delay

reglaje máximo de la turbina sería

$$z_B = 6.7 - 0.09 - (0.9 \times 10) = -2.3 \text{ meters}$$

Sería necesario realizar una excavación considerable. Así, pues, la cavitación puede ser una consideración importante.

### Control de la Velocidad

El control de la velocidad en una turbina es un problema importante y complicado. La magnitud del problema varía con el tamaño, clase de máquina e instalación, tipo de carga eléctrica y el hecho de si la planta está o no conectada a una red eléctrica. También deberá tenerse presente que la velocidad loca o sin carga puede ser mayor que la velocidad de diseño por factores de hasta 2,5. Esta es una importante consideración de diseño para todas las piezas rotativas, incluido el generador.

Trasciende del alcance de este estudio discutir la cuestión del control de la velocidad en cierto nivel de detalle. Sin embargo, conviene mencionarlo ya que gran parte de la tecnología proviene de unidades grandes. El costo de los reguladores es, por tanto, desproporcionadamente elevado en los tamaños más pequeños. El control de la velocidad se obtiene normalmente mediante control de flujo. Para un control adecuado es preciso tener suficiente inercia de rotación de las piezas rotativas. Cuando se rechaza la carga, se absorbe la fuerza, acelerándose el volante y cuando se aplica una carga, se dispone de alguna fuerza adicional debido a la desaceleración del volante. El tiempo de respuesta del regulador ha de seleccionarse cuidadosamente ya que un tiempo de cierre rápido puede ocasionar presiones excesivas en la cañería de presión.

Una turbina Francis se controla abriendo y cerrando las paletas de guía que varían el flujo del agua conforme a la carga. Se requiere un regulador potente para vencer las fuerzas hidráulicas y de fricción y mantener las paletas de guía en una posición fija bajo una carga constante. Por otro lado, las turbinas de impulsos son más fáciles de controlar. Esto se debe al hecho de que se puede desviar el chorro o se puede hacer pasar un chorro auxiliar fuera del chorro principal que produce energía, sin cambiar la tasa de flujo en la cañería de presión. Esto permite obtener largos tiempos de retardo para ajustar la tasa de flujo a las nuevas condiciones de fuerza. la válvula de lanza o aguja que controla la tasa de flujo puede cerrarse bastante lentamente, digamos en 30 a

times for adjusting the flow rate to the new power conditions. The spear or needle valve controlling the flow rate can close quite slowly, say 30 to 60 seconds, thereby minimizing any pressure rise in the penstock.


Several types of governors are available which vary with the work capacity desired and/or the degree of sophistication of control. These vary from pure mechanical to mechanical-hydraulic and electro-hydraulic. Electro-hydraulic units are sophisticated pieces of equipment and would not be suitable for remote regions. The precision of governing necessary will depend on whether the electrical generator is synchronous or asynchronous (induction type). There are advantages to the induction type of generator. It is less complex and therefore cheaper and typically has slightly higher efficiency. Its frequency is controlled by the frequency of the grid it is feeding into, thereby eliminating the need for an expensive conventional governor. It cannot operate independently but can only feed into a network and does so with lagging power factor which may or may not be a disadvantage, depending on the nature of the load. Long transmission lines, for example, have a high capacitance and in this case the lagging power factor may be an advantage.

Since the relative cost of governing is high in small units, there is a great need for advances in this area of hydropower technology. New governors are now being developed which regulate the power produced rather than govern the flow of water. One technique is load diversion in which a fairly simple device diverts the alternator output from the primary load needed. A second type of governor regulates the alternator output by changing the charge in the alternator field.

60 segundos, minimizando con ello el aumento de presión en la cañería de presión.

Se dispone de varias clases de reguladores que varían con la capacidad de trabajo deseada o el grado de complejidad del sistema de control. Estos oscilan entre simples dispositivos mecánicos y dispositivos mecánico-hidráulicos y electro-hidráulicos. Las unidades electro-hidráulicas son equipos complejos y no serían adecuados para regiones remotas. La precisión de la regulación necesaria dependerá del hecho de si el generador eléctrico es síncrono o asíncrono (tipo de inducción). Los generadores de inducción tienen ventajas. Son menos complejos y, por tanto, más económicos y típicamente tienen una eficiencia ligeramente superior. Su frecuencia es controlada por la frecuencia de la red de abastecimiento a la que alimenta, con lo que se elimina la necesidad de un costoso regulador convencional. No puede operar independientemente sino que solo puede alimentar a una red y lo hace con un factor de desfase de potencia que puede o no ser una desventaja, según la naturaleza de la carga. Por ejemplo, las líneas largas de transmisión tienen una capacitancia elevada y, en este caso, el factor de desfase de potencia puede representar una ventaja.

Puesto que el costo relativo de la regulación es elevado en las unidades pequeñas, hay gran necesidad de conseguir adelantos tecnológicos en este área de los hidrogenadores. Actualmente se están desarrollando nuevos reguladores que controlan la fuerza producida, en vez de controlar el flujo del agua. Una técnica consiste en el desvío de la carga conforme a la cual un dispositivo bastante simple desvía la salida del alternador de la carga primaria requerida. Un segundo tipo de regulador controla la salida del alternador cambiando la carga en el campo del alternador.



## References

1. Kane, L. M., *The Waterfall That Built a City*, Minnesota Historical Society, 1966.
2. Rouse, H. and Ince, S., *History of Hydraulics*, Dover Publications, Inc., 1963.
3. Smith, N., "The Origins of the Water Turbine," *Scientific American*, Vol. 242, No. 1, January 1980.
4. Daugherty, R. L. and Franzini, J. B., *Fluid Mechanics With Engineering Applications*, 7th Ed., McGraw-Hill Co., 1977.
5. Communication from Paul Cooper, Ingersoll Rand Research, Inc., Princeton, New Jersey, July 22, 1980.
6. Arndt, R. E. A., "Recent Advances in Cavitation Research," *Advances in Hydroscience*, Vol. 12 (to be published).
7. Arndt, R. E. A., "Cavitation in Fluid Machinery and Hydraulic Structures," *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 13 (to be published).
8. "A Mini-Nitrogen Fertilizer Plant Based on Hydroelectric Power," Int'l. Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Ala., Project Proposal Phase 1, June 1978.
9. Treharne, R. W., Moles, D. R., Bruce, M. R. M., and McKibben, C. K., "Non-Conventional Manufacture of Chemical Fertilizers: Small-Scale Fertilizer Production Technology," Technical Paper.
10. Nuttall, L. J., "Conceptual Design of Large Scale Water Electrolysis Plant Using Solid Polymer Electrolytic Technology," General Electric Company
11. Hagen, D. L., "Methanol: Its Synthesis, Use as a Fuel, Economics, and Hazards," M.S. Thesis, University of Minnesota, December 1976.

# Crterios de Diseño Obras Civiles Típicas para Proyectos de Minicentrales Hidroeléctricas

Juan Mata

---

Juan Mata presentó un bosquejo de los diseños standardizados que se utilizaron en el Perú. Dichos diseños se pueden adaptar a las condiciones características del lugar.

---

## Generalidades

OPTA ha adoptado planos típicos de las principales obras civiles de Minicentrales Hidroeléctricas (hasta 500 l/s.), con el fin de utilizar estas planos en un gran número de proyectos que están - elaborandose. Estos planos típicos han sido tomados del volumen "Guía para la elaboración de Proyectos de Centrales Hidroeléctricas pequeñas" del Ing° Tsugo Nosaki 1° edición.

El criterio principal para la aplicación de estos diseños es: que deben ofrecer una solución económica y a la vez sigura de los variados problemas que aparecen en el aprovecha ento de los diferentes saltos para la Generación Hidroeléctrica.

Como la topografía, la hidrología y otras condiciones naturales - de los rios son diferentes en cada caso, no pueden aplicarse diseños estandarizados para todas las costrucciones civiles, sin perjudicar la eficiencia o la economía de la obra. Por consiguiente, los "diseños típicos" sólo pueden aplicarse dentro de ciertos límites y condiciones que pueden considerarse normales dentro de la configuración típica del país, es decir, cuyos parámetros determinados por la naturaleza sean similares a los asumidos para los "diseños típicos."

En muchos casos, los diseños típicos sólo podrán aplicarse con modificaciones, adaptándose a la configuración del terreno. En otros casos, por la gran cantidad de parámetros naturales, no es posible desarrollar un diseño típico sinó solamente dar indicaciones generales para facilitar el diseño particular.

# Design Criteria of Typical Civil Works for Minihydropower Plant Projects

Juan Mata

---

Juan Mata presented an outline of the standardized designs used in Peru. These designs may be adapted to suit site conditions.

---

## General Remarks

The Office of the Program of Applied Technology (OPTA) has adopted typical designs for the main civil works related to minihydropower plants (up to 500 l/s.) for the purpose of applying such blueprints to a large number of projects that are in the making. These typical blueprints were taken from the *Guide for the Development of Small Hydropower Plant Projects* by Eng. Tsugo Nosaki, 1st. edition.

The main criterion for application of such designs is that they should offer an economical as well as dependable solution to the numerous problems present when taking advantage of our many waterfalls to obtain hydropower generation.

Since topography, hydrology and other natural conditions are different in every case, standardized designs cannot be used for all civil works without damaging the efficiency or the economy of the installation. Consequently, "typical designs" can only be applied within certain limitations and conditions which may be considered normal within the typical configuration of the country, that is, in those cases where the paramenters determined by nature are similar to the premises established by the " typical designs."

In many cases, the typical designs will have to be applied with modifications, adapting them to the configurations of each site. In other cases, the wide variety of natural characteristics does not permit us to follow a typical design, but requires establishment of general guidelines to facilitate the development of a special design.

## Crterios de Diseo

### Tomas y Desarenadores

Su diseo depende de los siguientes parmetros:

1. Ubicacin en el curso del ro (en recta o curva)
2. Configuracin del terreno (pendiente del cauce/ro; ancho del valle, etc.)
3. Caudal por derivarse y ngulo de desv.
4. Rgimen de ro (caudales mximos y mnimos) en relacin alcaudal por captarse.
5. Acarreo de material (cantidad, frecuencia y tamao de pedrones acarreados, cuerpos flotantes, acarreo de fondo y en suspensin)

Por la gran variedad de estos parmetros no es conveniente disear una "Toma Estandarizada," sino solamente un esquema bsico, complementado por indicaciones para cada parte integrante de la Toma Esquemtica.

(El diseo tpico de OPTA, desarrollado de un plano del Ing. Nosaki, por ejemplo, es apropiado para un ro de poco acarreo de fondo, sin bloques grandes, de un caudal pequeo o mediano, sin avenidas fuentes. Para otros casos, se necesitan diseos diferentes)

Las partes integrantes de la Toma son:

1. Barraje completo o parcial, fijo o temporal y renovable.
2. Descarga de Fondo
3. Solera de Captacin.
4. Antecmara (zona de decantacin) aguas arriba de la compuerta de descarga de fondo y de la Solera de Captacin.
5. Reja de Admisin.
6. Compuerta de Control de Admisin.
7. Canal de Conduccin al Desarenador.
8. Vertederos Aliviadores.
9. Desarenador o Desripador.
10. Colchn de Agua o Contrsolera (eventual)

Para el diseo de estas partes se indican las siguientes reglas, vlidas para la mayora de los ros peruanos especialmente en la regin de la Sierra:

1. *El Barraje* parcial se aplica en ros anchos y caudalosos cuando se deriva slo una fraccin de su caudal.

Cuando el ro es ancho y su caudal de estiaje no muy superior al caudal de derivacin, se puede erigir un barraje temporal en cada temporada de estiaje, de piedras, maderas y/o "Champa," para completar el Barraje en esa temporada. En todos los dems casos y cuando

## Design Criteria

### Intake Structure and Sand Traps

The design for the intake and sand trap depends on the following parameters:

1. Placement on the stream (on a straight stretch or on a bend)
2. Configuration of the terrain (slope of the channel or river basin; width of the valley, etc.)
3. Amount of the flow to be used and the angle of diversion.
4. Maximum and minimum river flows in relationship to the amount of water to be used.
5. Material carried (amount, size and frequency of rocks transported, floating debris, silt carried and material in suspension).

Due to the great variability of these parameters it is not advisable to design a "standard intake", but instead to have a basic scheme, supplemented by guidelines for each phase of the scheme intake. For example, the typical design OPTA developed from the designs by Eng. Nosaki is appropriate for a river with a small amount of sediment, without big rocks, with low to medium amounts of water, and without strong currents. In other cases, different designs are needed.

The integral parts of the intake structure are:

1. Complete or partial diversion dam, fixed or temporary and renewable.
2. River bottom discharge
3. Intake
4. Antechamber (sedimentation zone) upstream from the intake
5. Trash rack
6. Sluice gate
7. Canal
8. Spillways
9. Sand trap
10. Waterbed

For the design of these parts, the following rules of thumb are indicated. They are valid for the majority of the Peruvian rivers, especially those in mountain regions:

1. A partial *diversion dam* is used in wide rivers with high flow when only a fraction of the flow is being diverted. When the river is wide and its low level is not greater than the diverted flow, a temporary dam can be built every low season with rocks, logs

las consideraciones económicas lo permitan, se recomienda el Barraje completo de mampostería o concreto, con su vertedero en la cresta.

2. *La Descarga de Fondo*, en todos los ríos con acarreo de fondo considerable en época de lluvias consistirá de una compuerta metálica, manejable a mano desde un puente que se eleva encima del nivel de agua en máxima avenida.

El tamaño de la compuerta depende de los bloques más grandes que puede acarrear el río y que no deberán poder atorar la salida. La pendiente del canal (antes y después de la compuerta) depende de la pendiente natural del río y debe ser suficiente para eliminar todo el material que el río pueda traer.

3. *La Solera de Captación* debe ser  $\geq 30$  cm. encima del nivel de la antecámara y tener suficiente longitud para que la velocidad del agua en este sitio no pase de los 50 cm/s. En caso de existir en el río acarreo de pedrones, será protegida por una reja gruesa — (que puede consistir en tubos de hierro, de  $\Phi$  2" con 20 cm. de distancia libre). Si hay cuerpos flotantes, palizadas (p.e. en zonas de Selva), se construirá un umbral encima de la entrada, convirtiéndola en "Ventana de Entrada."
4. El piso de la *Antecámara* tendrá inclinación fuerte hacia la Compuerta de Descarga de Fondo y un pavimento de concreto o empedrado. Su nivel de entrada será igual al nivel natural del río para facilitar el paso del acarreo pesado de fondo. La zona delante del Barraje - quedará sin pavimento, ya que será de decantación y no habrá en ella erosión, por la menor velocidad del agua.
5. Entre la Solera de Captación (3) y el Canal de Conducción (7) se colocará una *Reja Fina* (de 4-5 cm. de paso) para impedir la entrada de cuerpos grandes de acarreo a este canal. Delante de esta reja se colocará una Compuerta Desripadora, para eliminar este material.
6. Detrás de la Reja Fina se colocará una *Compuerta* (6) para controlar la admisión de agua al Canal de Conducción.
7. Para eliminar el exceso de agua en época de avenida, se construyen *Vertederos Aliviadores* en la zona de Toma que limiten el nivel máximo del agua hasta quedar debajo de los puentes de manejo de compuertas, accesos y otras partes de la construcción que no deben inundarse. La

and/or "sod" to form the dam for that season. In cases where economic considerations permit such action, it is advisable to build a complete dam of masonry or concrete with a spillway.

2. The *river bottom discharge*, used in rivers with a considerable amount of bottom material carried during the rainy season, should consist of a metal gate which can be operated by hand from a bridge situated above the maximum water level. The size of the gate will depend on the biggest rocks that might be carried and which should not be allowed to obstruct the outflow. The slope of the canal (before and after the gates) will depend on the natural slope of the river and should be sufficient to eliminate all the material that the river could carry.
3. The base of the *intake* area should be more than 30 cm above the level of the antechamber and its length along the river should be long enough to slow the speed of the water entering the intake to no more than 50 cm/s. In case of big rocks being carried by the river, the intake should be protected by a heavy rack which might be constructed with iron pipes 2" in diameter spaced 20 cm apart. If there is floating debris and logs (as in jungle zones), a "sill" should be constructed above the intake, converting it into an "intake window."
4. The *antechamber* canal should have a steep slope towards the river bottom discharge gate and should have a concrete or rock bed. The level of the discharge gate should be the same as the natural level of the river to facilitate passage of heavy bottom sediment. The area behind the dam should not be paved since it will constitute the sedimentation basin. Erosion is unlikely to happen due to the slower speed of the water.
5. There should be a *trash rack* (4-5 cm. spacing) built between the intake (3) and the canal (7) to prevent the entrance into the canal of larger pieces of debris. There should be a gate in front of this trash rack to flush out some of the heavier debris.
6. A *sluice gate* should be placed after the trash rack to control the water admitted into the canal.

longitud total de estos vertederos debe ser, en lo posible, igual o mayor de los siguientes valores:

- L1 = 20 m por cada m<sup>3</sup>/s del caudal por captar.
- L2 = 0.50 m. por cada m<sup>3</sup>/s. del caudal de máxima avenida siendo el nivel de los puentes etc.  $\geq 1.50$  encima de la cresta de los vertederos ó,
- L3 = 0.20 m. por cada m<sup>3</sup>/s. del caudal máximo, si el nivel de los puentes es  $\geq 2.50$  m. encima de las crestas de Vertederos.

Los Vertederos Aliviadores pueden ubicarse en los siguientes sitios:

- Encima del Barraje Principal (1)
- Al borde de la Antecámara (4)
- En la zona de Captación, antes de la reja (3)

Los Vertederos de esta zona quedarán todos al mismo nivel, sumándose sus longitudes para llegar al valor deseado.

#### 8. Descripiadores y Desarenadores

Los rios provenientes de la Sierra peruana traen casi todos acarreo fuertes, tanto de fondo como en suspensión, debido a la falta de vegetación. Por la misma razón, generalmente son escasos los cuerpos flotantes en estos rios. También en el curso de los canales entran en muchos casos, cuerpos sólidos que son arrastrados por el agua hacia las cámaras de carga y a las turbinas si no hay dispositivos de decantación en esta cámara.

Para centrales con Turbinas Pelton y Francis, se recomienda eliminar todos los granos de arena de diámetro mayor 0.3 mm, ó sea los que tienen una velocidad de decantación en aguas tranquilas de 4 cm/s. ó más. Además, debe inhibirse la decantación de arena en los canales, eliminando los granos mayores ya en la región de la bocatoma.

Según las condiciones locales, tanto en el río como en la zona del canal y la turbina, se dispondrán por consiguiente los desarenadores en Toma y en Taza (Cámara de Carga) en una de las combinaciones siguientes:

1. Desarenador Preliminar o solamente Descripiador en la Toma y Desarenador completo en Taza.
2. Desarenador Completo en Toma y Auxiliar en Taza.

7. To eliminate the excess water during high water season, *spillways* are constructed in the intake area to limit the maximum level of water so that the level is kept under the gate manipulation bridges and so accessways and other parts of the installation which are kept above floods. The total length of these spillways should be kept to the extent possible equal to or above the following values:

- L.1 = 20 m for each m<sup>3</sup>/s of water to be diverted through the intake.
- L.2 = 0.50 m for each m<sup>3</sup>/s of the maximum amount of high water, the level of the control bridges, etc. being more than 1.50 m above the crest of the spillways, or
- L.3 = 0.20 m for each m<sup>3</sup>/s of the maximum amount of water, if the level of the control bridge is more than 2.50 m above the spillway crest.

The spillways may be placed in the following sites:

- Above the main dam (1)
- At the edge of the antechamber (4)
- At the intake area, before the trash rack (3)

The spillways in this area should all be at the same level. Their lengths should be added to get to the desired value.

#### 8. Sand traps

Almost all of the rivers coming down from the Peruvian Sierras bring heavy material along the bottom, as well as in suspension, due to the lack of vegetation. For the same reason, there is little floating debris in these rivers. Along the canals solid materials frequently enter and are carried by the waters toward the load chambers and to the turbines when there are no measures taken to prevent sedimentation in these chambers.

For stations using Pelton and Francis turbines, elimination of all sand grains of over 0.3 mm is recommended, that is, those with sedimentation speed in still waters of 4 cm/s or more. Sedimentation should also be inhibited at the intake of the canals, eliminating the bigger grains of sand already at the intake region.



Los Desripadores consisten en un profundización de la Solera del canal de aproximadamente 50 cm. x 50 cm. con un talud de entrada de 1:1 a 1:2 y una compuerta de purga (ver esquema Bocatoma corte A-A).

Los Desarenadores están indicados en los diseños típicos que se refieren a Desarenadores completos.

Se debe tener en cuenta que, para una buena decantación de material de 0.3 mm., la velocidad del agua no debe ser mayor de 20 cm/s.

Los Desarenadores Preliminares ó Auxiliares pueden ser de tamaño menor, según las posibilidades del terreno hasta para decantar sólo material de 0.75 mm., sin embargo, la velocidad del agua no debe ser superior a los 35 cm/s.

Cuando el terreno es plano y permite construir un Desarenador - ancho, sin mayor costo, conviene siempre construir un Desarenador más ancho y corto disminuyendo así la velocidad del agua.

En la tabla siguiente se indican las medidas principales de Desarenadores, completos y preliminares para diferentes condiciones de terreno.

9. Para eliminar la erosión profunda al pie del Barraje (aguas abajo), y cuando no se puede llevar los cimientos del Barraje a terreno firme e impermeable es muchas veces conveniente construir una *Contrasolera* a poca distancia del Barraje, creando así un Colchón de Agua entre Barraje y Contrisolera de unos 30-80 cm. de profundidad. El fondo de este Colchón de Agua - puede quedar sin revestimientos, si contiene piedras grandes - que resisten la erosión y si no hay filtraciones muy fuertes debajo de la Contrisolera.

## Canales de Conducción

Se indican diferentes secciones de canales revestidos con concreto, con pendiente de 1%. Es conveniente considerar también otros tipos de sección, revestidos ó sin revestir, y con diferentes pendientes. Se agrega al plano un perfil hidráulicamente más favorable, con inclinación de las paredes de 2:1. Aumentando la pendiente del canal de 1% a 2.5% se aumenta la capacidad del canal en un 60%, pudiéndose así en muchos casos, disminuir la sección del canal y reducir los costos. En otros casos, especialmente en terreno rocoso, puede convenir dejar el

Depending on the local conditions, in the river as well as in the area of the canal and the turbine, the removal of sand should be done at the intake and the forebay in one of the following combinations:

1. Preliminary removal of sand or larger debris at intake and complete removal at the forebay.
2. Complete removal of sand at intake and a back-up removal at the forebay.

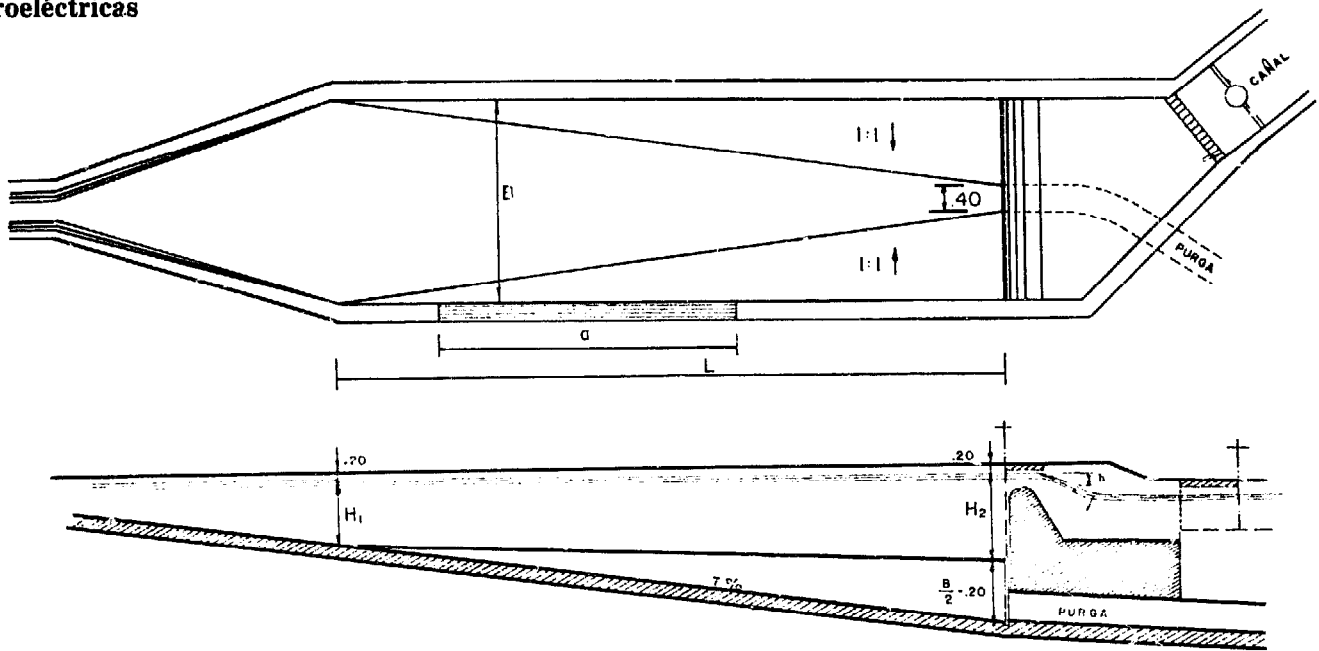
The sand trap for preliminary removal of sand and debris consists of a deepening of the intake area to approximately 50 cm. x 50 cm. just in front of the trash rack, with an upstream slope of 1:1 to 1:2 and a gate to permit flushing of the sand trap (See Intake drawing, A-A view). We have to keep in mind that, for good sedimentation of material of 0.3 mm, the speed of the water should not be higher than 20 cm/s. The preliminary or auxiliary sand traps may be smaller in size, depending on the suitability of the terrain for sedimentation of material up to 0.75 mm. However, the speed of the water should not be above 35 cm/s.

When the terrain is flat and permits the construction of a wide sand trap without major cost, it is always convenient to build a wider and shorter sand trap to decreasing the speed of the water. The following table shows the measurements of the sand traps, for both preliminary and complete sand removal, to suit different site conditions.

9. To prevent deep erosion at the foot of the dam (down stream) and when its foundation cannot be carried to firm and impermeable terrain, it is frequently convenient to construct a low wall a short distance downstream from the dam, sufficient to create a *waterbed* between the dam and this wall of 30 to 80 cm in depth. The bottom of this waterbed may be left without lining, if it contains big rocks to protect against erosion and if there is no strong seepage under the low wall.

## Canal

Different rectangular and trapezoidal canal sections lined with concrete, with a slope of one per thousand, are shown below. Other sections



**Medidas Principales  
(En Metros)**

**Main Measurements  
(In Meters)**

Streamflow Caudal	Tipo Type	B	L	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	a	h	Compuerta de purgo Purging Gate
500 l/s	Completo Complete	2.80	7.60	1.50	1.50	9.00	0.25	.40 x .40
		2.10	10.20	1.80	1.80	9.00	0.30	
		1.40	15.50	2.36	2.90	9.00	0.45	
200 l/s	Completo Complete	1.30	4.80	1.10	1.10	3.50	0.20	.40 x .40
		1.40	6.20	1.30	1.30	3.50	0.25	
		1.00	8.60	1.60	1.90	3.50	0.35	
500 l/s	Auxiliar Auxiliary	1.80	4.80	1.10	1.10	5.00	0.35	.40 x .40
		1.40	6.20	1.30	1.30	5.00	0.45	
		1.00	8.60	1.60	1.90	5.00	0.60	
200 l/s	Auxiliar Auxiliary	1.20	3.10	0.70	0.70	3.50	0.25	.30 x .30
		1.00	3.50	0.85	0.85	3.50	0.30	
		0.80	4.30	1.00	1.10	3.50	0.40	

-canal sin revestir, aumentando la sección. (la capacidad del canal no revestido es de 40% de un canal revestido de la misma sección). Se considera también una sección rectangular y otra trapezoidal con taludes de pared 1: 1.

No es recomendable construir tramos significativos del canal sobre relleno, por el peligro de asentamientos posteriores que pueden causar la rotura del canal sobre todo si la compactación del material no

may also be considered, lined or without lining, and with different side slopes.

Also included is a profile with a side slope of 2:1 which is hydraulically more favorable. Increasing the slope of the canal from one per thousand to 2.5 per thousand, increases the capacity of the canal to 60%, enabling us in many cases to decrease the section of the canal and reducing the costs. In other cases, especially in rocky ter-

se ha ejecutado a perfección. Este trabajo es difícil de lograr en zonas rurales aisladas sin supervigilancia continua y costosa.

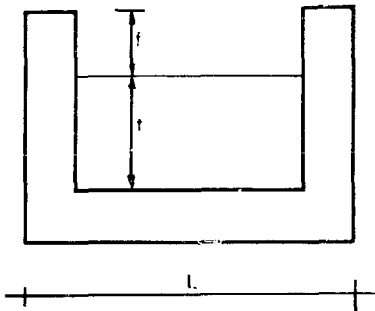
### Cámara de Carga (Taza)

Se ha diseñado una Cámara con Desarenador Completo (Sedimentación de 0.3 mm  $\phi$ ). Muchas veces el terreno empinado obliga a reducir el ancho del desarenador. Para no encarecer demasiado la construcción, en este caso se construye el Desarenador completo cerca de la Toma; o se compensa el menor ancho del desarenador en la Taza

rain, it may be possible to leave the canal without lining by increasing the section. The capacity of a canal without lining is 40% that of a lined canal of the same section.

It is not recommended that significant stretches of the canal be built over "filled in" ground because of the danger of future settling which might cause cracks in the canal, especially if compacting of the ground was not properly done. This is a very difficult task to perform in isolated rural areas without continuous and costly supervision.

### Canal Rectangular



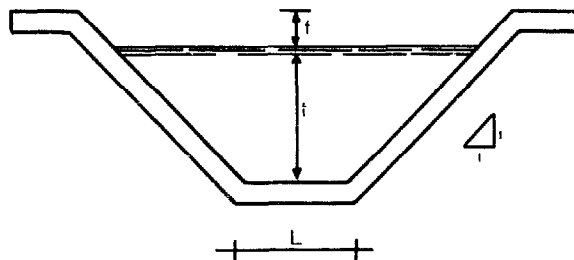
### Rectangular Canal

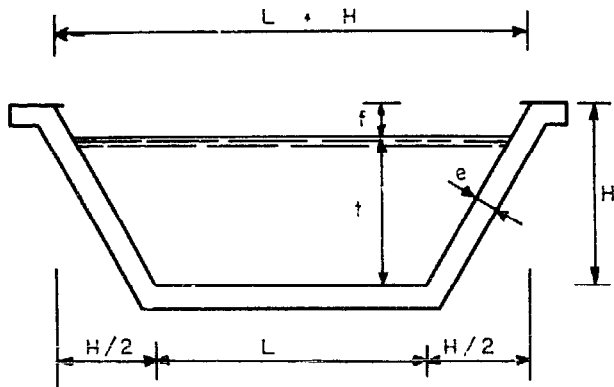
	125 - 150	200	500 lts
Pendiente Slope	1 %	1 %	1 %
Espesor Thickness	15 cm	15 cm	15 cm
L	.70m	.80m	1.00 m
t	.35m	.40m	.60m
f	.20m	.20m	.20m
A (area)	.245 m <sup>2</sup>	.32 m <sup>2</sup>	.60m <sup>2</sup>
(perimet. mojad.) (wet perimeter)	1.40 m	1.60 m	2.20 m
(radio medio) (average radius)	.175 m	.20 m	.27 m
X	46.75	48.19	51.49
V	.61 m/s	.68 m/s	.84 m/s
Q	.151 lts/s	.218 lts/s	.507 lts/s

### Canal Trapezoidal

	125 - 150	200	500 lts
Pendiente Slope	1 %	1 %	1 %
Talud Talus	1/1	1/1	1/1
Espesor Thickness	6 cm	6 cm	6 cm
L	.30m	.30m	.50m
t	.40m	.50m	.60m
f	.10m	.10m	.20m
A	.28 m <sup>2</sup>	.40 m <sup>2</sup>	.66 m <sup>2</sup>
C	1.43 m	1.71 m	2.20 m
R	.19 m	.23 m	.30 m
V	.66 m/s	.75 m/s	.90 m/s
X	48	50	52.51
Q	185 lts	300 lts	600 lts

### Trapezoidal Canal





**Canales Trapezoidales  
Inclinación 2:1**

**Trapezoidal Canals  
Grade 2:1**

Velocidad Velocity $v = m/s$ y Capacidad and Capacity $Q = l/s$	Pendiente Slope	Revestimiento Lining	Perfiles				Profiles					
			I		II		III		IV		V	
			v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
Medidas Measurements	1%	Sin Revestir Without Lining	0.23	43	0.26	65	0.28	100	0.31	130	0.35	210
		Revestido Lining	0.56	100	0.62	155	0.70	250	0.73	310	0.83	500
	2.5%	Sin Revestir Without Lining	0.37	66	0.42	105	0.46	165	0.47	200	0.55	330
		Revestido Lining	0.89	160	0.99	250	1.13	400	1.18	500	1.33	800
	Ancho del Fondo Width of Bottom	L	0.35		0.45		0.50		0.60		0.70	
	Altura Height	H	0.45		0.55		0.60		0.70		0.80	
Borde Libre Free Edge	f	0.10		0.16		0.13		0.20		0.20		
Tirante de Agua Depth of Water	t	0.35		0.39		0.47		0.50		0.60		
Area Mojada Wet Area	A	0.180		0.252		0.355		0.425		0.600		
Perimetro Mojado Wet Perimeter	C	1.12		1.32		1.58		1.72		2.04		
Radio Hidraulico Hydraulic Radius	R	0.295		0.190		0.225		0.247		0.294		

Nota: Las medidas f y t varían ligeramente según la pendiente y revestimiento ( $\pm 2$  cm.)  
Espesor de revestimiento = 10 cm.

Note: The measurements f plus t vary slightly depending on slope and lining ( $\pm 2$  cm.) Thickness of lining.

aumentando profundidad y longitud, de manera que la superficie del desarenador que - de igual y la velocidad del agua no pase de los 20 cm/s - (Ver Tabla de Desarenadores) La entrada a la Tubería de - Presión, protegida por una reja fina y una compuerta de cierre, debe quedar a 80 cm por debajo de la superficie del agua en la Taza y tendrá forma de embudo, con bordes redondeados.

### Forebay

A forebay with a complete sand trap has been designed (sedimentation to 0.3 mm in diameter). Sometimes when the terrain is steep, it is necessary to reduce the width of the sand trap. To prevent the cost of construction from escalating, either a complete sand trap is built near the intake or the decreased width of the sand trap is compensated for by increasing the

## **Tuberia**

La Tubería tendrá los siguientes diámetros

para 500 l/s : 45 cm

para 250 l/s : 35 cm

para 150 l/s : 25 cm

En terreno tendido (30° ó menos de inclinación media) se aumentará el diámetro de Tuberia en 5 cm., para disminuir las pérdidas por fricción en las Tuberías.

El espesor de las planchas será de 1/8" en caídas hasta de 50 m., y mayor sólo en las tramos inferiores de plantas con caídas mayores.

## **Casa de Máquinas**

Las dimensiones de la casa de máquinas depende de las medidas de la maquinaria y sus fundaciones serán indicadas generalmente por los fabricantes de ésta.

Conviene aplicar, para las Centrales pequeñas, tipos de construcción económica y con materiales, de acuerdo con la región en que está ubicada. Cuando se instalan varios grupos de generación (Turbinas-Generadores) se debe dejar entre estos suficiente espacio para no dificultar el trabajo de revisiones y reparaciones en cualquiera de estos distancia recomendable 1.50 2 m); y disponer suficiente espacio para el montaje de ellos.

## **Canales de Demasía (Aliviador) y de Descarga**

El Canal de Demasía (Aliviador) devuelve de la Taza al río las aguas sobrantes, no usadas para la Generación de Energía. Se construye generalmente con fuerte declive, con sección-suficiente para conducir el caudal máximo que pueda entrar a la Taza. Como segundo tramo del canal se usará muchas veces una quebrada u ollada natural, sin revestimiento si es rocosa o tiene subsuelo estable que se limpiará por la erosión de aguas que - llevará.

El Canal de Descarga devuelve al río las aguas turbinadas que salen de la Central. Cuando hay más de una Turbina sus descargas confluían hacia este Canal; salvo cuando hay muy poca distancia al río, caso en el cual la descarga de cada Turbina desembocará directamente en este. Para evitar la erosión de las desembocaduras, éstas deben construirse con revestimiento fuerte y generalmente se requerirán obras de defensa en la orilla del río, según las condiciones locales.

length and depth of the forebay, so that the surface of the sand trap remains the same and the speed of the water does not go above 20 cm/s (See Sand Trap Table). The intake to the penstock, protected by a fine screen and a gate, should be 80 cm under the surface of the water at the forebay and have the shape of a funnel with rounded edges.

## **Penstock**

The penstock will have the following diameters:

for 500 l/s : 45 cm

for 250 l/s : 35 cm

for 150 l/s : 25 cm

In extended terrain, (an average slope of 30° or less) the diameter of the penstock should increase by 5 cm to decrease the loss due to friction in the pipe.

The penstock pipe should be 1/8" thick for heads of up to 50m, and should only be bigger in the lower sections of plants with higher heads.

## **Powerhouse**

The size of the powerhouse depends on the size of the machines and the foundations generally will be specified by the manufacturers. At small hydropower stations, economic construction methods should be used with local materials depending on what is available in the region where they are located. When several turbine generators are to be installed, enough space should be left between them to facilitate inspection and repair work on either of them (recommended distance 1.50 to 2.00 m) and to provide enough space to install them.

## **Spillway Canal and Tailrace**

The spillway canal returns the excess waters, that water which has not been used for energy generation, from the forebay to the river. It is generally constructed with a slope steep enough to carry the maximum flow which could enter the forebay. A natural ravine can frequently be used as a second stretch of the canal without lining if it is rock or if it has a stable subsoil which will be cleaned by erosion.

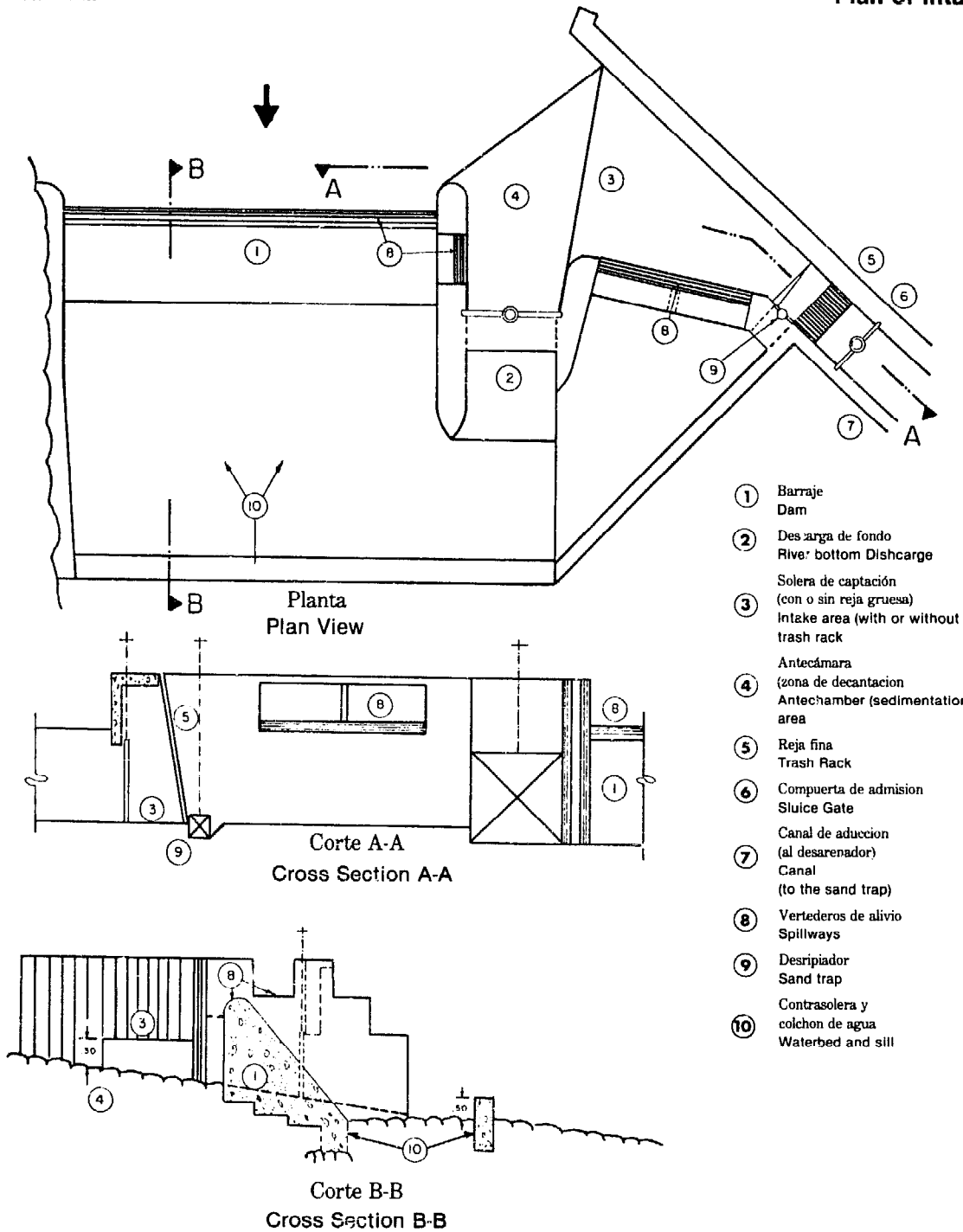
The tailrace returns to the river the water that has gone through the turbine. When there is more than one turbine, their tailwaters should converge towards a common tailrace. When there is very little distance to the river, the tailwater will be discharged directly into it. To prevent ero-

sion at discharge points, they should be constructed with strong linings and, in general, they will require civil works for protection at the river banks, depending on the local conditions. As a first step, A.I.D., and consultants from NRECA are assisting the mini hydropower program develop final documents required by that agency, such as the methodology for prefeasibility and feasibility studies and in two demonstration projects at the implementation level, applying the methodology designed. We believe that the methodology will be applicable to the entire Andean Area since the characteristics and problems are similar. The necessary foundation has been established for such programs to work in coordination and, in this respect, both entities have shown a good spirit of cooperation.



Esquema de Bocatoma

Plan of Intake Structure



- ① Barraje  
Dam
- ② Desarga de fondo  
Rive: bottom Discharge
- ③ Solera de captación  
(con o sin reja gruesa)  
Intake area (with or without  
trash rack
- ④ Antecámara  
(zona de decantación  
Antechamber (sedimentation  
area
- ⑤ Reja fina  
Trash Rack
- ⑥ Compuerta de admision  
Sluice Gate
- ⑦ Canal de aduccion  
(al desarenador)  
Canal  
(to the sand trap)
- ⑧ Vertederos de alivio  
Spillways
- ⑨ Desripiador  
Sand trap
- ⑩ Contrasonera y  
colchon de agua  
Waterbed and sill

# Selección del Lugar e Instalación de la Turbina

Kenneth M. Grover

---

Sin detenerse en los detalles técnicos presentados en otros documentos, Kenneth M. Grover presenta los elementos más importantes en la selección del lugar y la instalación, de la turbina. De valor particular es su perspectiva sobre el futuro: el mantenimiento y aún la expansión del sistema son realidades para las cuales se requieren preparativos el día de hoy.

---

El autor reconoce la imposibilidad de condensar en estas pocas páginas toda la información de interés para el ingeniero encargado de la selección del lugar e instalación de pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas.

Las turbinas eléctricas son iguales a cualquier maquinaria rotatoria en cuanto a que funcionan mejor en completa ausencia de sedimento, tierra, arena, piedras o partículas de metal. Hay que evitar diseñar la base del flujo del agua en lugares que permitan el paso de tales materiales. Cuando se trabaje con aguas no cortenidas, se pueden emplear los siguientes procedimientos específicos para dar más larga duración de operación a la planta hidráulica descentralizada.

La selección del lugar y el método de instalación dependen en alto grado del equipo escogido y las fuentes disponibles para el abastecimiento del agua. Aquí presentamos una lista de informaciones que se deben acopilar para realizar la tarea.

## Colección de Información

1. Demanda de Energía, kW, Hertz, Fase, Voltaje.
2. Distancia de transmisión y mapas del terreno.
3. Caída de lluvias mensuales y anual.
4. Área de drenaje de la cuenca.
5. Proporción de lluvia caída al agua escurrida.
6. Curvas de duración del flujo del área (o de un río similar)
7. Información de la estación de calibración, si la hubiere.
8. Mapas topográficos del área de interés.
9. Ubicación del punto de uso en el mapa.

# Site Selection and Turbine Setting

Kenneth M. Grover

---

Without getting into the technical details presented elsewhere, Kenneth M. Grover presents the most important elements involved in site selection and turbine installation. Of particular value is his perspective on the future: maintenance and even system expansion are realities for which preparations are required today.

---

The author acknowledges the impossibility of condensing into these few short pages all of the information that would be of interest to the engineer engaged in site selection and installation of small decentralized hydroelectric (SDH) plants.

Hydraulic turbines are the same as any rotating machinery in that they run better in the complete absence of silt, soil, sand, stone and metal particles. We should avoid designing a water flow path that is able to permit passage of such materials. When working with non-dam waters, the following specific procedures may be employed to give a longer operating life to the SDH plant.

The site selection and the method of installation are both heavily biased by the equipment selected and the available water supply sources. We will list the information that must be made available for the task.

## Data Collection

1. Power demand, kW, Hertz, Phase, Voltage.
2. Transmission distance and maps of terrain.
3. Annual & monthly rainfall.
4. Drainage basin area.
5. Ratio of rainfall to run-off.
6. Flow-duration curves.
7. Gauging station data.
8. Topographical maps of the area of interest.
9. Location of usage point on the map
10. Location of any known falls or steep terrain in area.



10. Ubicación de saltos de agua conocidos o terrenos empinados en el area.
11. Características del terreno en el area, rocoso, sedimentado, arcilloso, arenoso, etc.

Cuando la información ennumerada arriba esté compilada, se simplifica la búsqueda de un lugar. Entonces se puede escoger los lugares posibles mediante la ecuación de aumentos de costo de transmisión comparados con los incrementos del costo de la turbina-generador o los costos de desarrollo del lugar.

Si no se la ha escogido desde ya, se debe elegir el tipo de turbina. En países donde hay lugares con caídas en exceso de 20 metros, usualmente se puede instalar turbinas de tipo a reacción que resultan en ahorro en los costos tanto del equipo como de la instalación.

### Selección de Equipo

1. Obtener, o seleccionar, el tamaño de la turbina en H.P. or kW.
2. Obtener, o seleccionar, las características eléctricas. Evítese dc.
3. Optimizar para conseguir los más bajos costos con las mayores caídas y los flujos más bajos.
4. Escoger todos los artículos preparados en paquetes del "agua-al alambre" para facilitar el transporte.
5. Elegir equipos con piezas de repuesto disponibles y hacer pedidos de piezas que se puedan reemplazar como parte del gasto original de equipos.
6. En lugares remotos, evitar conversion de dc a ac siempre que sea posible.
7. Evitar componentes para los cuales no hay servicio en la localidad o que no tengan piezas de repuesto en almacenaje.
8. Procurar seleccionar sistemas que puedan ser duplicados en otros lugares y hasta quizá en otras dimensiones.

Cuando se tenga disponible la información descripta arriba, se puede intentar seleccionar el lugar. Siempre se ha de encontrar más barato utilizar zanjas o canales de desvío que desarrollar la caída por construcción de paredes de contención. También ha de resultar más barato substituir caída por flujos en las ecuaciones de energía. Los trabajos civiles (movimiento de tierra) serán menos costosos cuando se hayan encontrado los mejores puntos intermedios en la cuestión de terrenos empinados versus planos.

11. Character of area soils, rocky, silt, clay, sand, etc.

When the above data are available, the search for a site is simplified. Candidate sites may be chosen by equating increased transmission costs against increased turbine-generator or site-development costs.

If it has not already been selected, the type of turbine must be chosen. In countries where sites are available with heads in excess of 20 meters, it is usually possible to install reaction-type turbines with savings in both equipment and installation costs.

### Equipment Selection

1. Obtain, or select, the size of turbine in H.P. or kW.
2. Obtain, or select, electrical characteristics. Avoid dc.
3. Optimize for lowest cost with greatest head & lowest flows.
4. Select all items in water-to-wire package for ease of transport.
5. Pick equipment with spare parts availability and order replaceable parts as part of the original equipment expenditure.
6. In remote locations, avoid conversion of dc to ac if possible.
7. Avoid all components which are not readily serviceable with the local people and on-hand spare parts.
8. Attempt to select systems that can be duplicated at other sites and perhaps even in other sizes.

With the above information available, site selection may be attempted. It will always be found cheaper to use diversion ditches or canals than to develop head by impoundment. It will also prove to be cheaper to substitute head for flow in your power equations. Civil (earth-moving) work will be less costly when the best compromise has been made in the matter of steep versus flat terrain. When a candidate site has been chosen, three factors may be costed which, when added together, will give the delivered cost of power: water supply, equipment, and transmission.

When the site selected can pass the following tests, then it would be well to attempt to cost the equipment supply and erection required to place a station in operation at this point. I regret giving

Cuando se haya escogido un lugar "candidato," se debe hallar el costo de tres factores los cuales sumados darán el costo de entrega de la energía: abastecimiento de agua, equipo y transmisión.

Cuando el sitio seleccionado pueda pasar las siguientes pruebas, entonces se podrá calcular el costo del abastecimiento de equipos y construcción requeridos para colocar una estación en operación en este punto. Pido disculpas por darles los valores en unidades de los Estados Unidos pero en mi experiencia la gente puede convertir a sus monedas mejor que yo y al mismo tiempo corregir las diferencias de precio. Lo que sigue está basado en una caída neta de 14 metros:

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. Turbina, Generador y Panel de Control montado sobre varaderos prefabricados de 50 kW a 100 kW en tamaño | \$1500/kW                  |
| 2. Excavación, máquinas y caminos de acceso  | \$ 2.00/yd                 |
| 3. Material para cañería de presión de 1/4" (@Puerto) (prefabricado)                                       | \$ 20.00/pie <sup>2</sup>  |
| 4. Concreto ya mezclado, al lugar, por camión  | \$ 80.00/yd <sup>3</sup>   |
| 5. Acero de refuerzo al lugar por camión   | \$ 600.00/ton.             |
| 6. Casa de máquinas, piedras y mezcla  | \$ 150.00/kW<br>construída |
| 7. Antecámara, reja protectora contra basura y 2 compuertas  | \$27,000.00                |
| 8. La mano de obra, con los costos arriba mencionados cubiertos es de un operario por mes por kW           |                            |
| 9. Costo Total instalado por kW  | \$3,400.00                 |

Estas cifras fueron utilizadas en un estimativo reciente y constituyen un promedio de costos en Panamá, Marruecos y Chile. Sin duda necesitarán corrección, pero pueden servir como guía.

### Lista de Verificación para la Selección del Lugar

1. El lugar está ubicado a distancia razonable de los consumidores.
2. El terreno no es tan difícil que sea posible formar un equipo de instalación.
3. Se puede optimizar la caída y el flujo para rendir aproximadamente \$1,500.00/kW en este lugar.

the following values to you in American units but I have found people can convert to their currencies better than I can and at the same time correct for any differences in pricing. The following is based on 14 meter net head:

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Turbine, Generator and Control Panel mounted on fabricated skid 50 kW sizing to 100 kW sizing: | \$1500/kW                            |
| 2. Excavation, machine & access roads:  | \$2.00/yd.                           |
| 3. One-quarter-inch penstock material (@ Port):   | \$20/Ft <sup>2</sup><br>(fabricated) |
| 4. Ready-mixed concrete to site by truck:   | \$80/Cu. Yd.                         |
| 5. Reinforcing steel to site by truck:  | \$600.00/ton                         |
| 6. Allowance for powerhouse, stone & mortar:  | \$150/kW<br>erected                  |
| 7. Forebay, Trash-rack & (2) headgates:   | \$27,000                             |
| 8. Labor, with above costs covered is 1 man-mo/kW.  |                                      |
| 9. Total Installed Cost/kW:   | \$3400.                              |

These numbers were used for a recent estimate and were an average from costs in Panama, Morocco and Chile. There is no doubt they will need to be corrected, but may serve as a guide.

### Check List for Site Selection

1. The site is located within reasonable distance from the users.
2. The terrain is not too difficult to work an installation crew.
3. The head and flow can be optimized to yield about \$1500/kW in this location.
4. The site can be developed without dams, tunnels or long water conduits.
5. The flows persist enough of the year to make the project of value to the users.
6. It is possible to get the equipment in to the site selected and to erect it.
7. The value of the power produced will more than equal the cost of producing it.
8. Local people have the desire and ability to operate the plant if it is carefully erected.

4. Se puede desarrollar el lugar sin construcción de represas, túneles ni largos conductos para el agua.
5. El flujo persiste durante suficiente temporada en cada año como para que el proyecto sea de valor para los consumidores.
6. Es posible acarrear el equipo al lugar escogido e instalarlo.
7. El valor de la energía producida será mayor que el costo de producirla.
8. La población local tiene el deseo y la habilidad de operar la planta una vez que esté cuidadosamente construida.

### **Instalación de una Pequeña Planta Hidroeléctrica Decentralizada**

El procedimiento que damos a continuación ha sido utilizado en otros lugares del mundo con buenos resultados en la instalación de pequeñas plantas hidroeléctricas decentralizadas.

Comienza en las nacientes a lo largo de los bancos de las corrientes donde es muy importante la selección de un lugar como punto de partida. Cuando se puede hacer dicha elección, desvíe el agua de la corriente principal en un canal lateral en ángulo recto de 90 grados (perpendicular al curso de la corriente principal). Devuélvase la corriente de partida por lo menos por un ancho del doble del canal, luego amplíese en una pileta de área seccional mayor para reducir la velocidad a menos que un pie lineal por segundo. Reconozca que se deberá limpiar esta pileta periódicamente, cuando las velocidades aumenten a un promedio mayor que un pié por segundo.

Se debe recubrir el canal de la corriente de partida con pedregullo para prevenir daño en la intersección con la corriente principal. Este pedregullo se debe llevar de vuelta al canal por una extensión dos veces más ancha que el canal hasta el punto donde el canal se ensancha para formar la primera cámara o cuenca de sedimentación. Manténgase en cuenta que el desborde de las aguas ocasionará poco daño, siempre que la intersección sea de 90 grados a la corriente principal y esté bien revestida con pedregullo. Cuando las corrientes principales sean mayores, se deberá usar piedras más grandes.

Se deben usar las cámaras de decantación en pares en un canal de desvío. La primera en la toma se usa para proteger el canal mismo contra la sedimentación. La segunda se usa para proteger el equipo en la casa de máquinas. Cuando el canal sea más largo, quizá de 1000 metros, se debe reconocer la posibilidad de que

### **Installation of a Small Decentralized Hydro Plant**

The following is a procedure which has been used elsewhere in the world with good results in setting-up a small decentralized hydroplant.

It starts at the headwater along the stream bank where selection of a spot for a take-off point is very important. When such a choice becomes possible, lead the water away from the main stream in a side canal at a 90 degree angle. (Perpendicular to the main stream course.) Carry this take-off stream back at least two canal-widths, then widen into a pool of greater cross sectional area to reduce velocity to less than one linear foot per second. Recognize that this pool may have to be cleaned periodically when the velocities increase to over one feet/second rate.

The take-off stream (canal) should be stone-faced with "rip-rap" to prevent damage at the intersection with the main stream. This "rip-rap" should be carried back into the canal about two canal-widths to the point where the canal widens to form the first settling pool or basin. Keep in mind that high water flooding will cause little damage, provided that the intersection is at 90 degrees to the main stream and is well-protected with "rip-rap". For larger main streams, use larger "rip-rap".

Settling basins should be used in pairs on a diversion canal. The first, at the inlet, is used to protect the canal itself from silting full. The second is used to protect the machinery in the power house. When the canal is longer, perhaps 1000 meters, recognition must be given to the possibility of water coming into the canal from the upper side along the distance the canal will travel to get the desired head. Here the second settling pool, or basin, becomes necessary to avoid damage to the turbomachinery. In order to be effective, this second basin must reduce velocities to less than one-half linear foot per second.

Whenever possible, it will be worth the extra cost to pour the concrete head frame and trash-rack support oriented so that the water must make another 90 degree turn before entering the trash-rack, head gate and penstock. Thus the water feeds the turbine from the side of the canal (forebay). Let the canal extend on past the trash-rack and it will form a cleaning area for the sludge to be ramped to the top. The sludge gets

el agua venga al canal de más arriba a lo largo de la distancia que el canal recorrerá para obtener la caída deseada. Aquí se hace necesaria la segunda cámara de sedimentación para evitar daños a la turbomaquinaria. Para ser efectiva, esta segunda cámara debe reducir las velocidades a menos de medio pie lineal por segundo.

Siempre que sea posible se ha de justificar el costo extra de poner un marco de concreto y una rejilla para proteger contra la basura orientados de tal modo que el agua deba dar otra vuelta de 90 grados antes de entrar en la rejilla de desagüe, la compuerta y las cañerías de presión. Así el agua alimenta la turbina de un costado del canal (antecámara). Si se deja que el canal se extienda pasando la rejilla de desagüe de la basura, se formará un área de limpieza del lodo para enrampar al tope. El lodo es expulsado por la fuerza centrífuga del agua al lado ciego haciendo su entrada a través de la rejilla protectora contra la basura.

Sería conveniente elegir un punto cercano a la salida de la primera cámara de sedimentación para construir una barrera para parar troncos flotantes.

El uso de dicha barrera en este lugar permitirá al operador colocar los troncos en los lugares convenientes en caso de que los bordes del canal se deslicen o si hay necesidad de drenar el canal por cualquier razón. Hasta podría prevenir un desastre real en caso de que hubiere falla en la cañería de presión que pudiera destruir la casa de máquinas como 20 años más tarde. Se debe mantener en cuenta que cualquier canal construido en las laderas de una montaña puede siempre deslizarse con una lluvia fuera de lo común, o con un deslizamiento de barro.

El final del canal que contiene la rejilla protectora contra basura y la compuerta debe ser construido sólidamente sobre una plataforma de pie bien embebida en terreno sólido bajo nivel. La plataforma debe incorporar barrotes de acero de refuerzo doblados para arriba de modo a quedar dentro de las paredes de la antecámara o del canal cuando se derrame el concreto. El marco de la compuerta de concreto se debe derramar sobre la pared interior de la antecámara o del canal. El orificio o la conexión de la cañería debe estar en su lugar en la pared cuando se derrame la mezcla de concreto. Este arreglo ha de suministrar la máxima seguridad posible para la conexión de la cañería de presión y las compuertas.

Las cañerías de presión de agua deben estar provistas con protección contra la pulsación en la forma de caños de descarga de la presión. Cuando se usan velocidades de flujo del agua en las cañerías en el

thrown to the blind end by the centrifugal force of the water making it s turn into the trash-rack.

It is wise to choose a point near the exit from the first settling pool to erect a stop-log frame. The use of a stop-log barrier in this location will permit the operator to drop the logs into place if the side of the canal should be washed out or if there is need to drain the canal for any reason. It can even avoid a real disaster should a penstock failure be destroying the powerhouse about 20 years from now. Keep in mind that any canal placed along the side of a mountain can always be washed out by an unusual rain or by a mud-slide.

The end of the canal that contains the trash rack and head gate should be solidly-built on footer-slab well embedded into solid soil well below grade. The slab should incorporate re-bar steel turned-up to be within the walls of the forebay when it is poured. The headgate frame should be poured into the inside wall of the forebay or canal wall. The penstock "thimble" or stub should also be in place when the wall is poured. This arrangement will provide the strongest possible attachment to the penstock and headgate.

Penstocks should be provided with surge protection in the form of stand-pipes. When penstock flow velocities are used in the range of 3 to 5 feet per second or greater, the cross-sectional escape area in the surge pipe should be at least 75% of the penstock flow area. For this reason, and others, it is well to spend more money over-sizing the penstock to keep the velocities as low as possible. The rule is to keep the penstock as large as possible, as short as possible and as vertical as possible.

Carry a leg or extension of the penstock on below the take-off point for the turbine. Carry it down to the base of the foundation so that no weight is carried by the turbine frame. Make provision to drain the penstock leg to avoid accumulation of material passing the trash-rack and getting into the turbine. If the velocity is low in the penstock, you will not have a measurable loss in coming out to the turbine at 90 degrees. You will save many repair hours by installing this leg and by keeping it drained of debris. Above all you will extend the life of nozzles, gates and runners.

It would be well to offer a few words of guidance on the trash rack before proceeding to

rango de 3 a 5 pies por segundo o más, el área de escape de la sección transversal en el caño de protección contra la pulsación debe ser por lo menos 75% del área del flujo de la cañería de presión.

Por esta razón, además de otras, es necesario gastar más dinero para que las cañerías de presión sean de mayor tamaño de lo que se necesite para poder mantener las velocidades de la corriente tan bajas como sea posible. La regla general es la de mantener la cañería de presión lo más grande, lo más corta y tan vertical como sea posible.

Se debe elevar una ramificación o extensión de la cañería de presión por debajo del punto de partida de la turbina. Se la debe llevar para abajo donde están los cimientos de modo que no se deposite peso alguno sobre el marco de la turbina. Se debe tomar medida para drenar la ramificación de la cañería de presión así que se evite acumulación del material que pase la rejilla protectora contra basura y vaya a la turbina. Si la velocidad es baja en la cañería, de presión no habrá gran pérdida a la entrada a la turbina a 90 grados. Se ahorrarán muchas horas de reparación mediante la instalación de esta extensión y manteniéndola libre de basuras. Sobre todo, se prolongará la vida útil de las bocas, compuertas y rotores.

Sería conveniente ofrecer algunas palabras de guía respecto a la rejilla protectora contra basura antes de proceder a la instalación de la turbina. Primero, la rejilla debe tener un ángulo de inclinación de 45 a 60 grados en la dirección de la corriente. Segundo, la rejilla debe colocarse a suficiente distancia aguas arriba por encima de las compuertas de modo que cada cual pueda ser reparada dejando la otra en operación. Por último, se debe extender hasta la rejilla un punto por encima de la pared lateral de la antecámara de modo que las ramas, hojas, etc. puedan ser rastrilladas separándolas del paso del flujo del agua. Hay consideraciones relativas al hielo que no conciernen a este documento, pero en general, el hielo no constituye aumento en la dificultad de la operación de la rejilla sino más bien una disminución porque no hay hojas que caigan, etc.

Una buena rejilla protectora contra basura debe tener mucha importancia para el operador. Debe ser suficientemente fuerte como para soportar la presión del agua aún cuando esté totalmente tapada con ramitas y hojas, etc. Debe filtrar el material que no se desea que pase en el agua entra en la turbina, y aún tener suficiente área de flujo para permitir el paso del agua sin pérdida significativa en la caída. Otra regla básica es la de suministrar un área de flujo en la rejilla protectora contra basuras igual a tres

the turbine installation. First the rack should be inclined in the direction of flow to an angle of 45 to 60 degrees. Second the rack should be placed far enough up-stream of the headgate so that each is repairable with removal of the other. Lastly, the rack should be extended to a point above the top of the forebay sidewall so that twigs, leaves, etc. can be raked away from the water flow-path. There are ice considerations that are not deemed to be appropriate to this paper, but in the main, ice does not constitute an increase in the rack operating difficulty, but a decrease due to lack of falling leaves, etc.

A good trash rack must be many things to the operator. It must be strong enough to withstand the water pressure even if it were to become blinded by twigs, leaves, etc. It must strain the unwanted material from the turbine inlet water, yet have enough flow area to permit water through without significant loss of head. Another rule is to provide flow area in the trash rack equal to three times the flow area of the head gate to the penstock.

A suitable rack design for SDH plants in the tropics uses strap-metal one quarter of an inch in thickness, two to three inches wide and any length up to about ten feet, as needed. These straps are placed on edge (to the flow) and spaced one-half inch apart. The fastest method today is to weld the slats up in bundles about 12 inches wide and then insert the bundles into a frame similar to a door frame. Thus they can be removed individually for repair, maintenance, etc. Keep a spare!

It is always desirable to install a quick-closing valve on the turbine inlet. If a penstock is short and the head-gate is nearby, you may be able to get along without using such a valve, but it is valuable in repair and service work. This is especially true when working on the governor, gates, etc. We like to see the next larger valve size above the turbine inlet flange sizing.

Notwithstanding all of the foregoing, the real challenge of the SDH plant is the installation of the system which will recover an optimum of power from the head and flow available — and recover it continuously over a long maintenance-free period. To meet this challenge, we must study certain problems and adopt specific procedures related to SDH. The rules to stay out of trouble are:

1. Whenever possible, mount the turbine and

veces el área del flujo de las compuertas a la cañería de presión.

Una rejilla adecuada diseñada para las pequeñas plantas hidroeléctricas decentralizadas en los trópicos utiliza barras de metal de un cuarto de pulgada de espesor, dos o tres pulgadas de ancho y de cualquier largo hasta de 10 pies, conforme a la necesidad. Se colocan estas barras sobre el borde (hacia el flujo del agua) con un espacio intermedio de media pulgada. El método más rápido que se usa hoy día es el de soldar las listas en haces como de 12 pulgadas de ancho y luego se insertan los haces en un marco semejante al marco de una puerta. Así se pueden sacar estas partes individualmente para la reparación, mantenimiento, etc. Siempre hay que guardar un repuesto!

Se recomienda la instalación de una válvula de cierre rápido a la entrada de la turbina. Si las cañerías de toma son cortas y hay una compuerta en la cercanía, sería posible funcionar sin dicha válvula, pero es muy valioso tenerla cuando se tiene que hacer servicio de reparación o mantenimiento. Esto es especialmente necesario cuando se trabaje en el regulador, las compuertas, etc. Nosotros preferimos que se use una válvula de tamaño inmediateamente mayor por encima del reborde que regula el tamaño de entrada a la turbina.

Además de todo lo expuesto hasta aquí, el verdadero desafío para una pequeña planta hidroeléctrica decentralizada es la instalación de un sistema que pueda recuperar al óptimo la energía de la caída y el flujo disponibles — y recuperar la continuamente durante un largo período sin mantenimiento. Para satisfacer esta demanda, debemos estudiar ciertos problemas y adoptar procedimientos específicos relacionados con las pequeñas plantas hidroeléctricas decentralizadas. Las reglas para mantenerse sin dificultades son:

1. Siempre que sea posible, montar la turbina y su generador sobre una base común de acero, prefabricada.
2. Construir un cimiento sólido de concreto o con piedras y mezcla, de una altura adecuada y con un peso equivalente por lo menos a 10 veces el peso del generador de la turbina cuando esté en rotación, lleno de agua.
3. Asegurar el bloque a la roca de base, si la hubiere, e incluir los bulones del cimiento para la base de acero prefabricada. Observar los valores normales de resistencia del suelo para el uso de pilotes, soportes de la base, etc.

its generator on one common fabricated steel base.

2. Pour, or lay-up with stone and mortar, a solid foundation pier or block of proper height and with weight equivalent to at least ten times the flooded rotating weight of the turbine generator.
3. Pin the block to the bed-rock if present and include the foundation bolts for the fabricated steel base. Observe normal soil-bearing values for using piles, spread-footers, etc.
4. Mount the steel base, with or without the turbine & generator aboard, over the foundation bolts on wedges which will hold a gap of one inch between the bottom of the base and the top of the block.
5. Level the base and grout with Embecco (or any expanding grout) or dry-pack a 3:1 cement-sand mixture into the interval and let stand for 30 hours. Withdraw the jacking screws and the wedges and draw down on the foundation bolts.
6. Mount the turbine and generator on the base (if not already on the base), and install 100/1000's laminated shim stock under each foot of turbine and generator. Set the turbine and level and set the alignment of the generator to it. Dowel all feet with reamed tapered dowels.

The foregoing would be a typical mechanical installation of a Francis or propeller-type turbine with horizontal shaft. Vertical shaft units must be handled according to their design. However, all units have a group of common denominators. They must be kept from moving when the penstock is filled or emptied of water in order to preserve their alignment. They must be kept free of foreign material. The manufacturer's recommended lubricants must be supplied, etc; but it is not the purpose of this paper to point out the things you will be told from other sources, but rather the things you may not hear elsewhere.

It will be found that tailwater variations above and below design are a troublesome aspect of living with a run-of-stream installation. We like to think that our clients will still want to run their power plants with high water as well as design flows. Therefore, it is required to provide escape area for excess water which will be present at some periods of the year.

4. Montar la base de acero, con o sin la turbina y el generador encima, sobre el cimientó con los bulones que lo aseguran sobre cuñas, con un espacio de una pulgada entre la base y el tope del bloque.
5. Nivelar la base y darle una lecherada con Embeco (o cualquier lecherada que se expande) o rellénesse en seco con una mezcla de 3:1 de cemento y arena en el intervalo y dejar sin perturbar por 30 horas. Sacar los tornillos que lo mantienen levantado y las cuñas y dejar bajar sobre los bulones del cimientó.
6. Montar la turbina y el generador sobre la base (si no están ya allí) e instalar material laminado de 100/1000' bajo cada pie de la turbina y generador. Colocar la turbina y nivelarla e insertar en ella el alineamiento del generador. Enclavijar todas las patas con clavijas bien rebajadas para conseguir ajuste perfecto.

Lo antedicho sería aplicable a una instalación mecánica típica de turbina Francis o a hélice con eje horizontal. Se debe manejar las unidades verticales conforme a su diseño. No obstante, todas las unidades tienen un grupo de denominadores comunes. Se debe evitar moverlas cuando las cañerías de presión se estén llenas o vacías de agua para preservar su alineación. Se las debe mantener libres de todo material extraño. Se deben suministrar los lubricantes recomendados por los fabricantes, etc.; pero no es el propósito de este documento llamarles la atención hacia las cosas que otras fuentes les van a informar, sino, por el contrario, las cosas que no les van a decir los demás.

Se encontrará que las variaciones de descarga del agua por encima o por debajo de lo diseñado constituye un aspecto difícil con una instalación que utiliza el agua que corre naturalmente. Nos gusta pensar que nuestros clientes han de querer operar sus plantas de energía con mucha agua así como fluye el diseño. En consecuencia es necesario proveer área de escape para el exceso de agua que habrá en ciertas épocas del año.

Para diseñar un área de escape adecuada, hay que escoger o formar la base del canal de descarga del agua más o menos en la forma de un bote con fondo plano. La quilla se convierte en el curso normal del flujo de la descarga. Tan pronto como aumenta el flujo del agua, se dispone de un área de flujo mucho mayor con sólo un pequeño aumento en el nivel de la descarga.

El canal de la descarga debe ser desplazado del cauce principal lo suficiente como para evitar que la

To design for adequate escape area, choose, or form, the bottom of the tailwater channel somewhat in the form of a flat-bottomed boat. The keel becomes the normal tailwater flow course. As soon as the water flow increases, a greatly increased flow area becomes available with only a small rise in tailwater level.

The tailwater channel should be offset from the main channel enough to prevent being washed full of gravel during flood periods.

The rule, in one sentence, is to provide much more escape area than would at first be thought necessary. Carry the tailwater trench down the stream a short distance before it joins the mainstream.

## A Few Case Histories

A 25 kW Francis turbine was installed in a remote location in a country in North Africa to be operated without any connection to any other generation source. The unit was placed on stream, ran well for about 5 months and at that time a thunderstorm caused high water in the stream from which the water was drawn, by way of a 600 meter canal to a wooden forebay and steel penstock, for the turbine. I was in the country and was asked to look at the turbine without any description of the damage, only the statement that it was damaged.

Upon arrival at the village, there had been no lights for several months, I found the take-off nearly parallel to mainstream flow. The 600 meter canal had been partially-filled with gravel nearly the entire length. The trash-rack had collapsed and let a truck-load of gravel descend the penstock to the turbine. At the foot of the penstock, a long radius elbow fed the water (and gravel) directly into the gate-case, gates and runner. The machine was destroyed.

**Solution:** Redesign the take-off to 90 degrees, install settling pools at each end of the canal, keep the trash rack clean, and strengthen the supports.

A 100 kW vertical propeller-type turbine had been running well for about 5 years driving a horizontal-shaft generator through a 3:1 angle-drive gear box. The gear box had suffered a failure. The manufacturer had furnished the parts for a rebuild in the field, at his expense. About a

corriente lo llene de pedregullo durante el período de la creciente.

La regla es simplemente suministrar un área de escape mucho mayor que lo que parezca necesario en un principio. Se debe dirigir la zanja de la descarga agua abajo por una corta distancia antes de que se una a la corriente principal.

## Historia de Algunos Casos

Una turbina Francis de 25 kW fué instalada en un lugar remoto en un país del norte de África para funcionamiento sin ninguna conexión a ninguna otra fuente de generación. La unidad fué colocada sobre la corriente, operó bien por aproximadamente cinco meses y entonces una gran tormenta causó el crecimiento del agua en la corriente de donde se tomaba el agua, por medio de un canal de 600 metros a una antecámara de madera y cañerías de presión de acero, para la turbina. Me encontraba yo en el país y me pidieron que inspeccionara la turbina sin dárseme descripción del daño, sólo me dijeron que no funcionaba.

Al llegar a la villa, donde no había habido luz desde varios meses atrás, observé que la salida era casi paralela al flujo de corriente principal. El canal de 600 metros estaba parcialmente lleno de pedregullo casi a todo lo largo. La rejilla protectora contra basura se había derrumbado dejando paso a una camionada de grava que descendió por la cañería de presión a la turbina. Al pie de la cañería de presión, un codo de radio largo alimentaba el agua (y la grava) directamente en la caja de las compuertas y del rotor. La máquina estaba destruída.

**Solución.** Rediseñar la salida a 90 grados, instalar las piletas de sedimentación a cada extremo del canal, mantener limpia la rejilla de protección contra basura y reforzar los soportes.

Una turbina vertical a hélice de 100 kW había funcionado bien por aproximadamente cinco años impulsando a un generador con eje horizontal a través de una caja de engranajes de ángulo 3:1. La caja de engranajes había sufrido una falla. El fabricante había suministrado piezas de repuesto para reconstrucción en el campo, pagando el costo. Como una semana después de haber comenzado a funcionar, la caja de engranajes producía tal ruido que el operador decidió cerrar el sistema.

Al llegar al lugar encontré que la caja de engranaje había sufrido daño que ya no se podía reparar. La turbina estaba en una caja de presión de 9 pies de

week after start-up the gear box became so noisy that the operator shut the system down.

Upon arrival at the site, I found the gear box to be damaged beyond repair. The turbine was in a 9 foot diameter pressure case with a single side inlet. The client was a mining company with machine-shop facilities. Penstock was 5 feet in diameter, nearly vertical and supported on concrete piers crossed by two 24 inch I-beams on about 14 foot spans.

I set up dial indicators on the hub of the gear box, reading on the hub of the turbine. Next I blocked rotation of the turbine and filled the penstock and pressure casing. The turbine hub moved 105 thousandths of an inch with respect to the gear hub. The entire system lacked rigidity.

**Solution.** I ordered a thrust bearing for the generator and mounted it vertically, installed Timken roller tail-shaft bearing on turbine shaft and installed 150 H.P. industrial "Vee-Belt" drive from spares client had on hand for Ball-Mill drives. Unit has now been in operation for a little over three years without further trouble.

A comment: It is probable that this system could have been stiffened to control the deflections that were damaging the gear box. The time element spelled out the solution that was used. The cause of the damage was the failure to provide adequate support for the penstock.

The client was a large U.S. paper company, engaged in generating his own power with a pair of vertical shaft Kaplan turbines. During the period of adequate water, he ran both units and generated very little steam electricity. During the summertime, he ran one unit only and shut the other one down. About three years after start-up, with one unit running, lightning struck the power line between the power plant and the paper mill. Damage was confined to the spider and keys that attached the umbrella-type generator to the vertical turbine shaft. The spare unit was running when I arrived at the site.

**Solution.** The spider had to be replaced and it took the rest of the summer. By autumn both were running and ran throughout the winter. Calculations made with respect to the failed spider revealed no design weaknesses. We could see that the forces generated by the lightning could reoccur. We recommended that both units



diámetro con toma lateral simple. El cliente era una compañía minera que tenía taller es de reparación. Las cañerías de presión eran de 5 pies de diámetro, casi vertical y soportada con pilares de concreto cruzados por dos vigas en I de 24 pulgadas en tramos de 14 pies.

Coloqué indicadores en la caja de engranajes para tomar lecturas en la caja de la turbina. Luego se puso un bloque a la rotación de la turbina y se llenó la cañería de presión y el encasillado de presión. La caja de la turbina se movió 105 milésimos de una pulgada con respecto a la caja de engranajes. El sistema en sí carecía rigidez.

**Solución.** Se ordenó un rodamiento de empuje para el generador y se lo montó verticalmente. Se instaló un rodamiento Timken Roller para el eje de cola en el eje de la turbina y se instalaron guías industriales con bandas en V de 150 H.P. usando repuestos que el cliente tenía disponibles guías Ball-Mill. La unidad ha estado en operación ahora por algo más que tres años sin más problemas.

**Un Comentario.** Es probable que este sistema pudiera haber sido reforzado para controlar las deflecciones que estaban perjudicando la caja de engranajes. El elemento del tiempo determinó qué se debería hacer. La causa del daño fué la falla de suministrar soporte para la cañería de presión.

El cliente fué una compañía americana de producción de papel que generaba su propia energía con un par de turbinas Kaplan a eje vertical. Durante el período de suficiente abundancia del agua, operaban ambas unidades y generaban muy poca electricidad a vapor. Durante el verano, operaban sólo una unidad y cerraban la otra. Como tres años despues de empezar, mientras una unidad estaba en operación, un rayo cayó sobre la línea entre la planta de energía y la fábrica de papel. el daño fué confinado a la araña y las llaves que unían el generador en forma de paraguas al eje vertical de la turbina. La unidad de reserva estaba funcionando cuando llegué a la planta.

### **Solución:**

Se tuvo que reemplazar la araña y ésto tomó todo el resto del verano. Para el otoño ambas unidades estaban operando y funcionaron durante todo el invierno. Los cálculos hechos con respecto a la araña que falló no revelaron las debilidades del diseño. Nos dimos cuenta de que las energías generadas por el rayo podrían volver a ocurrir. Recomendamos que

be left "on-line" during the summer with one acting as a synchronous condenser.

Two years after the procedure had been adopted, lightning again struck the system. This time the bolt was more powerful than earlier and some synchronous motors in the mill were damaged, but the hydro units were fine. If you have lightning, remember this!

### **Looking Ahead**

There is no doubt in the speaker's mind that one day we are going to have to recover all renewable energy forms. Here are some do's and dont's for your consideration.

#### **DO**

1. Make your take-off canal large enough to carry all of the water in the mainstream, at least up to twice what you need at the present. At the very least, this will reduce the velocities so that you will be running cleaner water in the beginning.
2. When you construct the forebay, try to plan one connection which may be only a wooden plank poured into the wall, with a steel plate over the inside to prohibit failure. Someday someone will be glad you thought of him. (It may be you).
3. Select standard generation voltages for future connection to some future network. Make room in your control panel for automatic synchronizing equipment.
4. Plan your transmission links so that, by changing voltage in the future, you can move more renewable power to more people.
5. Don't foreclose your options on many small hydro units by the philosophy of large development only. As an example, the U.S. fueled it's industrial revolution with renewable energy hydro and many of these smaller (100 to 1000 kW) units are being restarted today in the U.S.

#### **DON'T**

1. Don't forget that, in some locations, hydro power is seasonal. This does not rule out certain uses for this power that may coincide with the energy availability. For example, the heating season, at some altitudes, in your countries may fit well with the run-off season.

ambas unidades fueran mantenidas en operación durante el verano, con una de ellas operando como un condensador sincronizado.

Dos años más tarde un rayo volvió a caer sobre el sistema. Esta vez la descarga fué mucho más potente que la anterior y algunos motores sincronizados en la planta sufrieron daño, pero las unidades hidráulicas no sufrieron daño. Si en su area hay peligro de rayos, recuerde este ejemplo!

## Preparación Para el Futuro

No hay duda en mí mente de que algún día vamos a poder recuperar todas las formas de energía renovable. He aquí algunas reglas que se deben tomar en consideración y otras que se deben evitar.

### Mayúsculas Consideraciones que Hacer

1. Hacer el canal de partida suficientemente grande como para acarrear toda el agua a la corriente principal, por lo menos el doble de lo que se necesita al presente. Por lo menos, esto reducirá las velocidades de tal modo que las aguas al comenzar serán más limpias.
2. Cuando se construya la antecámara, procurar de planear una conexión que puede ser sólo un tablón de madera colocado en la pared, con una placa de acero en el interior para evitar fallas. Algún día alguien le agradecerá que haya pensado en esto y ese alguien podría ser usted mismo!
3. Seleccionar voltajes de generación standard para conexión a alguna red futura. Dar cabida en su panel de control para equipo de sincronización automática.
4. Planear sus eslabones de transmisión de manera que mediante cambio del voltaje en el futuro, se pueda distribuir más energía renovable a más consumidores.
5. Sus opciones no se deben limitar a muchas unidades hidroeléctricas pequeñas por la filosofía de grandes desarrollos solamente. Como un ejemplo tenemos la época de la Revolución Industrial de los Estados Unidos que utilizó la energía renovable de las pequeñas plantas hidroeléctricas (100 a 1000 kW) y muchas de ellas están en proceso de volver a ser utilizadas en los Estados Unidos de hoy día.

### Reglas Sobre qué Evitar

1. No olvidar que en algunas localidades la energía hidráulica depende de la estación. Esto no descalifica ciertos usos de dicha energía ya que se la puede sincronizar perfectamente con el

2. Certain applications, such as electrolytic refining of metals, can be done with seasonal power. In the future, available power will always be in demand.
3. Certain other alternate energy sources can be mated with the seasonal hydro to produce year-round energy. In the Rif Mountains of Northern Morocco, I did a study where bio-mass would be burned in low-pressure steam boilers to produce steam. This steam would drive a generator 4 months each year. The generator would be driven by a hydro unit 8 months a year. Neither the hydro, nor the bio-mass would have been adequate alone.
4. Don't try to get the last bit of efficiency out of the system at great expense. When on a run-of-river installation, you will either be wasting water or short of water anyway. Remember, until you make it expensive with dams, the water is free.

The speaker would like to comment that many pertinent areas related to the subject of site selection and turbine installation which would have been covered here have been covered by other speakers at this workshop. When reading this paper, kindly also refer to those given by:

Dr. Roger Arndt

"Small/Mini Hydropower. State of the Art, Technology"

Ken Grover

"Local Manufacturing Opportunities"

Dr. John S. Gladwell

"Hydrologic Studies for Hydropower Assessment"

All of these subjects complement each other and reading one paper will leave unsaid many things each author is depending on others to voice.

Thank You.



tiempo de disponibilidad de la energía. Por ejemplo, la estación en que se requiera calefacción, a ciertas altitudes en vuestros países puede bien coincidir con la estación de la caída de las lluvias.

2. Ciertas aplicaciones tales como el refinamiento de metales por proceso electrolítico puede hacerse con energía de la estación. En el futuro, siempre habrá demanda de energía disponible.
3. Ciertas otras fuentes alternativas de energía pueden ser utilizadas en conjunción con la hidráulica de la estación para producir abastecimiento de energía durante todo el año. En las Montañas Rif del Norte de Marruecos, hice un estudio en el cual se quemaría Biomasa a baja presión en las calderas a vapor para producir vapor. Dicho vapor daría impulso a un generador durante cuatro meses de cada año. El generador sería alimentado por energía hidráulica ocho meses al año. Ni la energía hidráulica ni la biomasa a hubieran sido adecuadas por separado.
4. No se debe tratar de exprimir hasta la última gota de eficiencia de un sistema, a costo elevado. Cuando en una instalación se utilice agua de la corriente natural de cualquier modo hay exceso o escasez de agua. Se debe recordar que el agua es gratis hasta el momento cuando se la haga costosa por causa de la construcción de represas.

Deseo comentar que hay muchas áreas pertinentes a la selección del lugar e instalación de la turbina que pudieran ser cubiertas por este documento, que van a ser presentadas por otros participantes de esta conferencia. Cuando se lea este artículo, será conveniente referirse también a las presentaciones de:

Dr. Roger Arndt: Mini/Micro Hidroelectricidad: El Estado del Arte de la Tecnología.

Ken Grover: Oportunidades Locales para Manufactura

Dr. John S. Gladwell: Análisis Hidrológico de las Cuencas de Ríos y Arroyos

Todos estos temas se complementan mutuamente y la lectura de un artículo dejaría sin expresar muchos de los aspectos que cada autor depende de que el otro artículo cubra. Muchas gracias.



# Obras Civiles: Diseño, Operación y Mantenimiento de Facilidades Hidroeléctricas Pequeñas

John J. Cassidy

---

El requerimiento de construcción civil adecuada que sean compatibles con la topografía local y escogidos sistemas de turbinas fueron presentados por John J. Cassidy. Se delinean las consecuencias de las instalaciones de alta caída versus las de baja caída.

---

# Civil Works Design, Operation, and Maintenance for Small Hydropower Facilities

John J. Cassidy

---

The requirement for appropriate civil works that are compatible with the local topography and chosen turbine systems were discussed by John L. Cassidy. The consequences of high-versus low-head installations are outlined.

---

## Introducción

Como las plantas hidroeléctricas pequeñas tienen que pasar por las mismas consideraciones de diseño que las plantas de mayor capacidad, su costo por kilowatt de energía desarrollada tiende a ser elevado. Para que estas pequeñas facilidades sean económicamente factibles se requiere un diseño imaginativo e innovador. En general, estas consideraciones se pueden agrupar en dos tipos de características: el sistema de la turbina-generator y las obras civiles. El primero está cubierto por otras presentaciones mientras este artículo se concentra en los últimos. En particular, se toman en consideración los aspectos específicos del diseño de las facilidades tanto de alta caída como de baja caída.

Los diseños innovadores son concebidos por diseñadores que consideran los requisitos globales de la operación y mantenimiento de la facilidad. Como las facilidades hidroeléctricas tienen altos costos iniciales, hay una tendencia fuerte para ahorrar usando mínima ingeniería en estos sistemas. En realidad, el porcentaje del costo total del proyecto dedicado a la ingeniería debe ser significativamente más elevado para las plantas pequeñas en comparación con las plantas mayores. Si no, el diseño, material y equipo en las alternativas consideradas, no podrán conducir a un diseño final de costo mínimo. El costo del mantenimiento y el tipo de mantenimiento necesario deben recibir suficiente consideración ya que las facilidades hidroeléctricas son diseñadas usualmente para durar de 40 a 50 años y en efecto históricamente han operado por mucho más largo tiempo.

Las facilidades hidroeléctricas rara vez pueden soportar el costo de turbinas, generadores, válvulas o

## Introduction

Because small hydroelectric plants are subject to the same design considerations as plants of large capacity, their cost/kilowatt of power developed tends to be high. In order to make these small facilities economically feasible, imaginative and innovative design is required. In general, these design considerations involve two general features: the turbine-generator system and the civil works. The former is covered by other presentations while this paper concentrates on the latter. In particular, the specific design aspects of both high-head and low-head facilities are considered.

Innovative designs result from designers who conceive fully the operational and maintenance requirements of the facility. Because hydropower facilities have high initial costs there is a strong tendency to minimize engineering on these systems. In actuality, the percentage of total project cost devoted to engineering should be significantly larger for small plants than for large plants. If it is not, the design, material, and equipment alternatives considered may not lead to a final design of minimum cost. Cost of maintenance and the type of maintenance required must receive sound consideration since hydropower facilities are usually designed for a life of 40 to 50 years and in actuality have historically operated for much longer times.

Small hydroelectric facilities can seldom support the cost of especially designed turbines, generators, valves or gates. Thus, it is particularly important for the planner and designer to be very

compuertas especialmente diseñados. En consecuencia, es muy importante que los planificadores y diseñadores estén bien al tanto de los equipos normalmente disponibles y que desarrollen diseños que incorporen desde un principio dichas unidades normales, válvulas, compuertas, turbinas y generadores.

En años recientes, particularmente en la literatura no técnica, la designación "baja caída" ha sido erróneamente aplicada a facilidades hidroeléctricas generadoras de cantidades de energía relativamente pequeñas. Como la energía depende del producto de la proporción del flujo y la caída, se puede desarrollar un valor pequeño de energía con una gran caída y una proporción de flujo muy baja o con una caída muy pequeña y una proporción grande de flujo. Las facilidades de baja caída por lo general caen en esta última categoría. No se va a implicar en este texto ningún límite específico de la caída, pero la mayoría de las consideraciones se aplican a caídas de 20 metros o menos.

### **Diseño de Alta Caída**

Las facilidades de alta caída generalmente caen en tres categorías de diseño. Cada diseño se clasifica de acuerdo al método por el cual se desarrolla la caída:

1. Canal de energía y cañerías de presión
2. Tunel de energía
3. Cañerías de presión

### **Diseños con un Canal de Energía**

La Figura 1 ilustra un arreglo típico para un diseño que utilice una represa de desviación, un canal de energía y una cañería de presión. Un diseño de este tipo podría desarrollar la caída necesaria con una represa relativamente baja. El declive del canal de energía es mucho menor que el de un río. Este diseño se adapta bien a un lugar que tenga un río empinado con por lo menos una pared del cañón que tenga una topografía suficientemente plana como para permitir la construcción del canal. El terreno y las formaciones geológicas alineados con el canal deben ser suficientemente estables como para asegurar que no ocurran daños frecuentes por deslizamiento que lo puedan destruir.

El canal puede ser forrado de concreto para evitar filtración si el terreno es permeable. Esta cobertura de concreto puede ser beneficiosa en cuanto se puede minimizar la pérdida de energía a lo largo del canal para maximar la caída disponible para la producción de energía.

Si no hay un reservorio más arriba de la represa de desviación, el sistema podría necesitar ser operado

much aware of standard equipment available and to develop designs which readily incorporate those standard valves, gates, turbines, and generating units.

In recent years, particularly in the non-technical literature, the designation "low-head" has been erroneously applied to hydroelectric facilities generating relatively small amounts of power. Since power is dependent on the product of rate-of-flow and head, a small value of power can be developed by a large head and a very small flow rate or a very small head and a large flow rate. Low-head facilities generally fall in the latter category. No specific limit in head will be implied in this text, but most considerations will apply to 20 meters of head or less.

### **High-Head Designs**

High-head facilities generally fall into three design categories. Each design is classified in accordance with the method by which the head is developed:

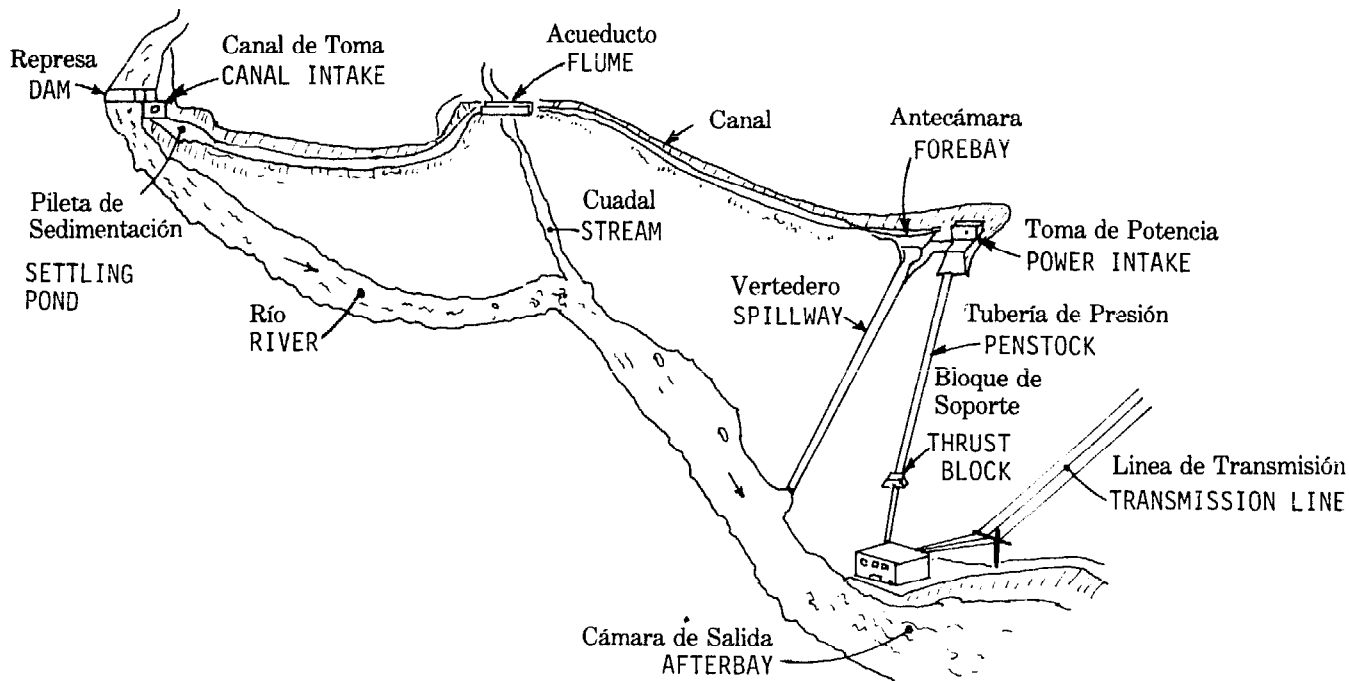
1. Power Canal and Penstock
2. Power Tunnel
3. Penstock

### **Designs With a Power Canal**

Figure 1 illustrates a typical arrangement for a design utilizing a diversion dam, a power canal, and a penstock. A design of this type may develop the necessary head with a relatively low dam. The slope of the power canal is much less than that of the river. This design is well adapted to a location involving a steep river with at least one wall of the canyon having topography flat enough to make construction of the canal feasible. Soil and geologic formations along the canal alignment must be stable enough to insure that frequent slides will not damage or destroy the canal.

The canal can be concrete lined to prevent seepage if the soil is pervious. Smooth concrete lining will also be beneficial in that energy loss along the canal can be minimized in order to maximize the available head for power production.

If there is no reservoir upstream from the diversion dam, the system may need to be operated as a run-of-the-river plant while allowing sufficient flow to remain in the river to satisfy in-stream requirements. These in-stream requirements may include water for fisheries or for industries or municipalities located between the diversion dam and the power plant. For a small



**Figura 1 Disposición Típica de una Facultad de Alta Caída con un Canal de Potencia**  
**Figure 1 Typical Arrangement of a High-Head Facility With a Power Canal**

como si fuera una planta de corriente natural mientras permita que permanezca suficiente flujo en el río para satisfacer los requisitos de la corriente. Estos requisitos podrían incluir agua para la pesca o para industrias y municipalidades ubicadas entre la represa de desvío y la planta de energía. Para una facilidad hidroeléctrica pequeña, esta distancia es pequeña y las necesidades del flujo de la corriente serán correspondientemente pequeñas.

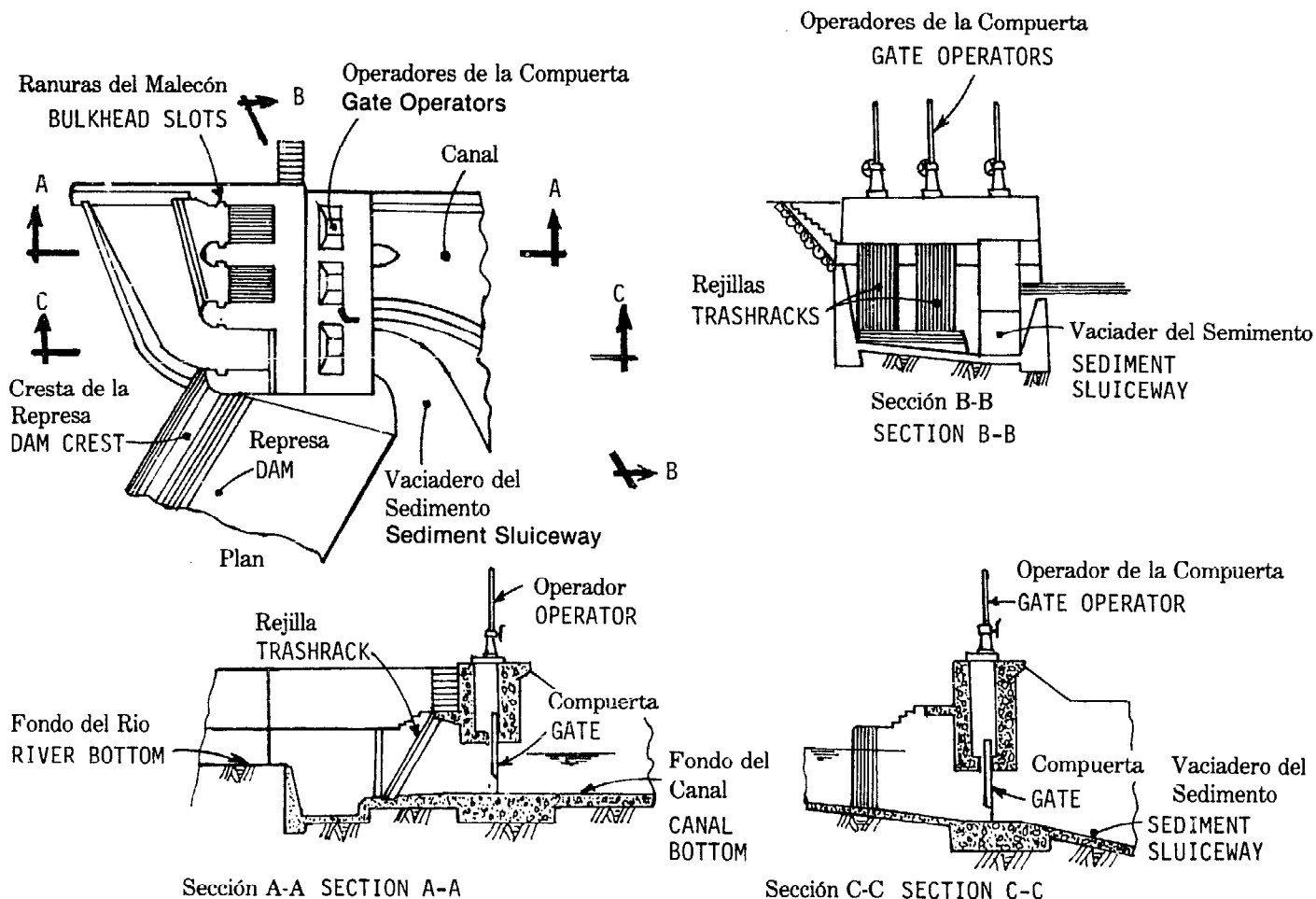
Los componentes del sistema incluyen: represa de desviación y vertedero del canal principal, estructura de regulación y compuertas en la parte superior de la corriente del canal, estructuras que transporten el drenaje por debajo o arriba del canal, una antecámara y vertedero en el extremo inferior del canal, estructura de toma para la cañería de presión, la cañería de presión, turbinas, generadores, controles, casa de máquinas, desvíos instantáneos alrededor de las turbinas y cámara de salida.

La Figura 2 ilustra una pequeña represa de desvío típica, que se debe utilizar para una planta aprovechando la corriente del río y estructura de toma del canal de energía. Para una represa baja es importante considerar la cantidad de sedimento suspendido y arrastre de fondo acarreados por la corriente. La estructura de toma no se debe colocar en el interior de una curva del río porque es tendencia

hidropower facility, this distance is small and in-stream flow needs will likewise be small.

Components of the system include: diversion dam and main-channel spillway, regulation structure and gates at the upstream end of the canal, structures to carry drainage under or over the canal, a forebay and spillway at the lower end of the canal, intake structure for the penstock, penstock, turbines, generators, controls, powerhouse, instantaneous bypass around the turbines, and the tailrace.

Figure 2 shows a typical small diversion dam such as would be used for a river-run plant and power canal intake structure. For a low dam, it is very important to consider the amount of suspended sediment and bed-load carried by the stream. The intake structure should never be located on the inside of a river bend because of the natural tendency of a river to deposit sediment on the inside of the bend. Removal of the sediment would be continuous and expensive. A depressed channel should be provided in front of the regulating gates where sediment (particularly bed-load) will be deposited. A separate gate is then provided through which material deposited in the sediment trap can be sluiced back into the river. Gates used in the structure can be radial



**Figura 2 Represa de Desvío y Estructura de Toma Potencia**  
**Figure 2 Diversion Dam and Power Intake Structure**

natural del río la de depositar sedimento en la parte interior de la curva. Se tendría que extraer los sedimentos continuamente y eso resultaría costoso. Se debe proveer un canal deprimido en frente de las compuertas de regulación donde los sedimentos (particularment el arrastre del fondo) han de ser depositados. Se coloca entonces una compuerta separada por la cual el material depositado en la trampa para el sedimento pueda ser devuelto a la corriente del río. Las compuertas utilizadas en la estructura pueden ser radiales para estructuras mayores o compuertas verticales que se pueden levantar, para las estructuras más pequeñas. La operación manual de dichas compuertas podría ser satisfactoria pero se deberán considerar compuertas motorizadas cuando se requiera operación automática. Se debe proveer normalmente una rejilla de protección contra la basura para evitar que la basura penetre en el canal. La limpieza de las rejillas de protección contra la

for large structures or vertical-lift gates for smaller structures. Manual operation of the gates may be satisfactory but motorized gates must be considered if automatic operation is required. A trashrack should normally be provided to keep debris from entering the canal. Cleaning of the trashracks can be either manual or automated as desirable. Design velocities of up to 1.5 meters per second through these trashracks are permissible if they can be cleaned. Many alternatives are possible in the design of the diversion dam. A low dam in a narrow channel should be designed as an overflow structure. For most cases, this would require a low concrete monolith or a rock fill dam with a central concrete wall.<sup>1</sup> For very small dams, use of timber cribs or timber buttresses should be considered although they may need to be replaced once or more during the project life. Inflatable dams or

basura puede ser manual o automática conforme a la necesidad. Se puede permitir el diseño de velocidades de hasta 1.5 metros por segundo a través de estas rejillas siempre que se las pueda limpiar. Hay muchas alternativas en el diseño de una represa de desviación. Se debe diseñar una represa baja en un canal angosto como una estructura como vertedero del sobreflujo. En la mayoría de los casos esto requiere un bloque monolítico de concreto o una represa llena de piedras con una pared central de concreto.<sup>1</sup> Para las represas muy pequeñas se debe considerar bases o refuerzos de troncos, aún cuando se los tenga que reemplazar una o más veces durante la duración de la planta. Durante los períodos de flujo bajo se pueden instalar represas que se puedan inflar o alzas móviles que se puedan remover.

El diseño del canal de energía debe considerar operación constante y transitoria. La masa de agua envuelta en el sistema total imposibilita la implementación de cambios rápidos (aumentos o disminuciones) en la generación de la energía. Para empezar, es necesario abrir las compuertas del extremo superior del canal por suficiente tiempo por adelantado para asegurar que el flujo en las cañerías de presión no vaya a acarrear toda el agua del canal. Una antecámara en el extremo inferior del canal debe ser suficientemente grande como para suministrar agua para pequeños cambios en la generación mientras el flujo en el canal retorne a su equilibrio. Esta necesidad podría ocurrir en casos en que haya cambio en la carga sin suficiente tiempo de notificación para permitir los cambios en la instalación de las compuertas que se deben hacer en la represa. Además un vertedero al extremo inferior del canal ha de ser provisto para la descarga del exceso del flujo sin producir daño en caso de paradas súbitas de las turbinas, fallas de las compuertas de más arriba, o la entrada de aguas de inundaciones al canal fuera del río o de un área de drenaje a lo largo del canal.

En el extremo superior de las cañerías de presión se pueden usar válvulas o compuertas operadas manualmente o travesaños corredizos instalados manualmente, para control ya que normalmente estarían cerrados sólo durante largos períodos cuando no se esté generando energía. Una rejilla de protección contra la basura se debe instalar al frente de la estructura de control para evitar la entrada de basura flotante. La toma de las cañerías de presión debe estar sumergida suficiente como para evitar la formación de vórtices que reducirían la capacidad del flujo y posiblemente introducirían aire en la cañería de presión. La sumersión requerida se da aproxima-

removable flash boards may be installed on the dam during low-flow periods.

Design of the power canal must consider steady-state and transient operation. The mass of the water involved in the total system makes it impossible to make rapid changes (increases or decreases) in power generation. For startup, it is necessary to open the gates at the upper end of the canal long enough in advance to insure that flow into the penstocks will not remove all water in the canal. A forebay at the downstream end of the canal must have a large enough capacity to provide water for small changes in generation while the flow in the canal is returning to equilibrium. This need will arise if load changes will occur without sufficient warning time to enable a change in gate setting to be made at the dam. In addition, a spillway must be provided at the downstream end of the canal to provide for discharge of excess flow without damage in case of sudden shutdown of the turbines, failure of the upstream gates to operated properly, or the entrance of flood flows into the canal from either the river or a drainage area along the canal.

At the upper end of the penstocks, manually-operated valves or gates, or manually-installed stoplogs can be used for control since they will normally be closed only during extended periods when power is not being generated. A trashrack should be installed in front of the control structure to control the entrance of floating debris. Inlets to the penstocks must be submerged deeply enough to prevent the formation of a vortex which will reduce the flow capacity and possibly introduce air to the penstock. Required submergence is given approximately by:

$$H_C = 0.72 V \sqrt{D} \quad (1)$$

where V is the velocity in the intake pipe (meters/second), and D is the gate height (meters). Submergence  $H_C$  (meters) is measured from the water surface to the crown of the pipe.  $H_C$  (meters) is measured from the water surface to the crown of the pipe.

Penstocks are normally constructed from steel but wood stave, fiberglass, and polyvinyl chloride pipe should be considered for small facilities. Wall thickness and diameter of the penstock can theoretically be optimized by considering the cost of material and the cost of power lost through resistance to flow. However, in reality, manufacturing savings will almost always lead to a uniform size and wall thickness for a small



damente por la siguiente formula:

$$H_c = 0.72 V \sqrt{D} \quad (1)$$

donde  $V$  es la velocidad de entrada del caño (metros por segundo),  $D$  es la altura de la compuerta (metros). La sumersión  $H_c$  (metros) se mide desde la superficie del agua hasta la corona del caño.

Las cañerías de presión se construyen normalmente de acero, pero para facilidades pequeñas se pueden considerar varillas de madera, fibras de vidrio o caños de polivinil-cloruro. El espesor de las paredes y el diámetro de las cañerías de presión pueden hacerse óptimos teóricamente si se considera el costo del material y el costo de la energía perdida por la resistencia al flujo. En realidad, si se quiere ahorrar en la manufactura por lo general se resulta en una medida uniforme e igual densidad de las paredes para una facilidad pequeña. Se deben suministrar bloques de soporte en todos los lugares en que las cañerías de presión cambien de dirección fuere lateral o verticalmente, para contrarrestar la presión desigual y las fuerzas de cambio del impulso (normalmente las fuerzas debidas a la presión son mayores). Las cañerías de presión se deben diseñar como para resistir las presiones estáticas totales más las presiones transitorias que se deban a cambios súbitos de la carga. Las presiones transitorias máximas en aumento o disminución han de resultar por causa de súbito cierre o apertura respectivamente de las compuertas de mariposa de la turbina o de las válvulas de control. En la práctica las velocidades máximas en las cañerías de presión son de 2.5 a 3.5 metros por segundo. La presión máxima de cambio se da aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$\Delta P = \rho \Delta V c \quad (2)$$

donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $\Delta V$  es el cambio en velocidad producido en la cañería de presión, y  $c$  es la velocidad del sonido en la cañería de presión (normalmente 1200/1500 metros por segundo).  $\Delta P$  será el signo algebraico asociado con  $\Delta V$ . Para las cañerías de presión más largas y más grandes, sería antieconómico utilizar paredes de espesor suficientemente grande como para soportar dicha suba de la presión. Un tanque de pulsación, colocado tan cerca a la turbina como sea posible, ha de suministrar liberación de la presión de manera económica, si la pared del cañón es suficientemente empinada. Si dicha pared del cañón tiene un declive pequeño, el costo de un tanque de pulsación sería prohibitivo y se deberá colocar una válvula de desvío simultáneo cerca de la turbina. La Figura 3 ilustra un instalación típica.

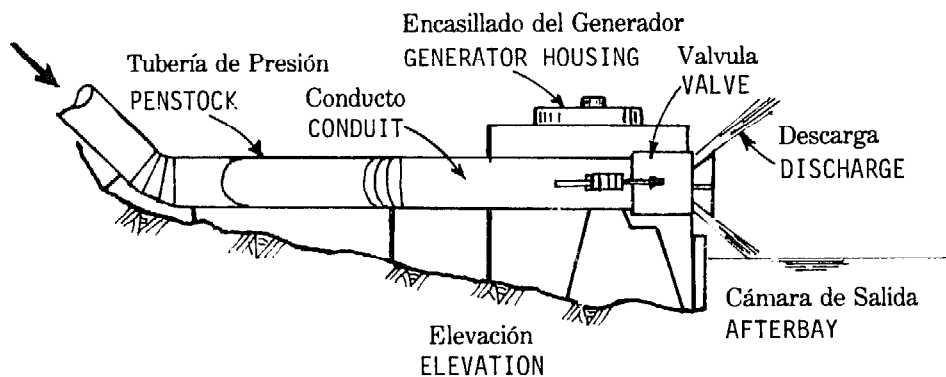
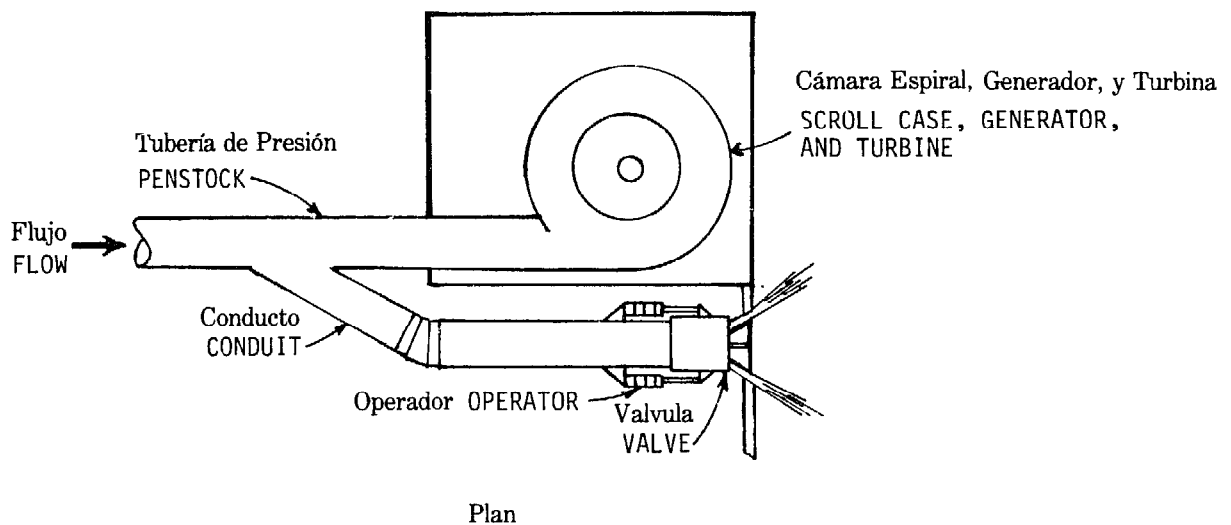
facility. Thrust blocks must be provided wherever the penstock changes direction either laterally or vertically in order to counteract unbalanced pressure and momentum-change forces (normally pressure forces are much the larger). The penstock must be designed to resist total static pressures plus transient pressures arising due to sudden load changes. The maximum transient pressure increase or decrease will result from sudden closure or opening respectively of turbine wicket gates or control valves. In practice, maximum velocities in the penstock are between 2.5 and 3.5 meters/second. The maximum pressure change is given approximately by:

$$\Delta P = \rho \Delta V c \quad (2)$$

where  $\rho$  is the density of water,  $\Delta V$  is the change in velocity produced in the penstock, and  $c$  is the speed of sound in the penstock (normally 1200-1500 meters/second).  $\Delta P$  will have the algebraic sign associated with  $\Delta V$ . For longer and larger penstocks, it will be uneconomical to utilize a penstock wall thickness sufficiently large enough to withstand such a pressure rise. A surge tank, located as near the turbine as possible, will provide pressure relief economically if the canyon wall is steep. If the canyon wall has a flat slope, cost of a surge tank may be prohibitive and a simultaneous bypass valve must be located near the turbine. Figure 3 shows a typical installation.

In theory, the bypass valve must be opened slowly before the turbine is started. Once flow has been established in the penstock, the turbine is started with the valve being closed simultaneously maintaining a constant rate of flow in the penstock. For load-reduction operation, flow through the turbine is reduced while the valve is simultaneously closed maintaining a constant flow rate in the penstock. Mechanical coupling of the valve and the turbine control is simplest, but electronic controls provide more advantageous operation. To conserve water, valve controls can close the valve slowly after equilibrium operation conditions have been reached. If water wasting is acceptable, the valve setting can remain constant until another load change is required. Properly designed Howell Bunger valves<sup>3</sup> provide the most economical bypass valves for larger plants. Any quick-acting valve can be used for smaller plants.

Air vents should be installed at the upstream end of the penstock to limit negative pressures produced by accidental closure of the upstream



**Figura 3 Válvula de Desvío Simultáneo**  
**Figure 3 Simultaneous Bypass Valve**

En teoría, la válvula de desvío se debe abrir lentamente antes de empezar el funcionamiento de la turbina. Una vez que se haya establecido el flujo en las cañerías de presión, se empieza a funcionar la turbina con la válvula cerrada, simultáneamente manteniendo una cantidad de flujo constante en las cañerías de presión. Para la operación con reducción de la carga se reduce el flujo a través de la turbina mientras se cierra la válvula simultáneamente, manteniendo una cantidad de flujo constante en las cañerías de presión. El acoplamiento mecánico de la válvula y el control de la turbina es de lo más simple pero los controles electrónicos proporcionan operación mas ventajosa. Para conservar el agua, se pueden cerrar lentamente los controles de la válvula después de haber alcanzado las condiciones de operación equilibrada. Si es aceptable el desperdicio de las aguas, el ajuste de la válvula puede per-

rupture disks can be installed in the penstock to protect it against sudden pressure rises. However, maintenance and replacement of these disks can be a problem in remote areas. Installation of an improper disk can result in operating inconvenience (if the disk ruptures at too low a pressure rise) or serious damage to the penstock and/or the machine if the disk fails to rupture at high pressures.

For Pelton-type units, load change can be accommodated without simultaneous bypass valves since vanes can be installed to move and deflect water between the nozzle and the wheel during load reduction. Once flow has been established in the penstock, the vanes are retracted.

The tailrace must maintain a proper tailwater elevation in order to prevent cavitation and inefficient operation in Francis-type turbines. Fre-

manecer constante hasta que se requiera otro cambio de la carga. Las válvulas Howell Bunger<sup>3</sup> diseñadas adecuadamente proporcionan las válvulas de desvío más económicas para las plantas mayores. Para las plantas más pequeñas se puede usar cualquier válvula de acción rápida.

Se debe instalar orificios de ventilación en el extremo superior de las cañerías de presión para limitar la presión negativa producida por el cierre accidental de la válvula de más arriba. Se pueden instalar discos de ruptura en las cañerías de presión para protegerlas contra aumentos súbitos de la presión. No obstante, el mantenimiento y repuesto de estos discos pueden constituir un problema en áreas remotas. La instalación de discos incorrectos puede resultar en inconveniencia en la operación (si los discos se rompen a muy bajas subidas de la presión) o se podría ocasionar daños serios a las cañerías de presión y/o a la máquina si los discos no se quiebran a altas presiones.

Para las unidades tipo Pelton, se puede acomodar el cambio de la carga sin válvulas de desvío simultáneo ya que se pueden instalar aspas para mover y desviar el agua entre la boca y la rueda durante la reducción de la carga. Una vez que el flujo se haya establecido en las cañerías de presión, se retiran las aspas.

La cámara de salida debe mantener una elevación adecuada en las aguas de salida para evitar la cavitación y la operación ineficiente de las turbinas tipo Francis. Frecuentemente, este control debe ser suministrado por una cámara de salida que puede ser diseñada de acuerdo al mismo criterio general usado para la represa de desvío.<sup>3</sup>

### Diseños con un Túnel o Conducto de Energía

La Figura 4 ilustra el arreglo esquemático de una facilidad típica de alta caída en la cual se conduce el flujo a las turbinas a través de un túnel o conducto (cañerías de presión). Si el extremo superior del túnel está abierto, las compuertas reguladoras del flujo que va al túnel de energía puede tener también las mismas características que las descritas en la sección anterior. Un sistema que utilice un canal de energía será siempre más económico que el que utilice túneles siempre que por lo menos una pared del cañón sea suficientemente plana como para proveer una ubicación para el canal, y las formaciones geológicas sean estables. El túnel requiere una formación geológica estable a través de la cual se ha de construir el túnel. Para una planta con alta caída, el túnel frecuentemente necesita ser revestido, par-

quently, this control must be provided by a tailrace dam which can be designed according to the same general criteria used for the diversion dam.<sup>3</sup>

### Designs With a Power Tunnel or Conduit

Figure 4 shows a schematic arrangement of a typical high-head facility for which flow is conveyed to the turbines through a tunnel or conduit (penstock). If the upper end of the tunnel is open, gates regulating flow into the power tunnel can also have the same characteristics as those described in the previous section. The system using a power canal will always be more economical than one using a tunnel as long as at least one canyon wall is flat enough to provide a location for the canal and geological formations are stable. The tunnel requires a stable geological formation through which the tunnel will be constructed. For a high-head plant, the tunnel will frequently need to be lined, particularly at its lower extremities. Although tunnel-boring machines have been developing rapidly in the past decade, it is still impractical to drill a tunnel much smaller than 2.5 meters in diameter. Since a tunnel of this size can provide enough flow for facilities developing 100 megawatts of power and more, it will seldom be economically feasible for a small plant. In addition, for any long tunnel a great deal of rock needs to be disposed of which may be a problem in a small steep canyon. In most rock, a tunnel-boring machine leaves a very smooth tunnel wall which results in low energy loss. Resistance coefficients (f) for the equation:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

are in the range of 0.222 for a 2.5-meter diameter tunnel. In equation (3), L is the tunnel length (meters), R is the hydraulic radius (meters), V is the average velocity of water in the tunnel (meters/second), g is the acceleration due to gravity (9.8 meters/second/second), and  $h_l$  is the energy loss expressed in meters of water.

Because of the high static and possibly high transient pressures experienced at the lower end of the tunnel, it is often necessary to utilize a steel lining there. The steel lining must be carried far enough upstream to insure that the rock around the tunnel has sufficient strength to withstand the required pressures.

For locations where a very short penstock can be used to convey water from the tunnel to the

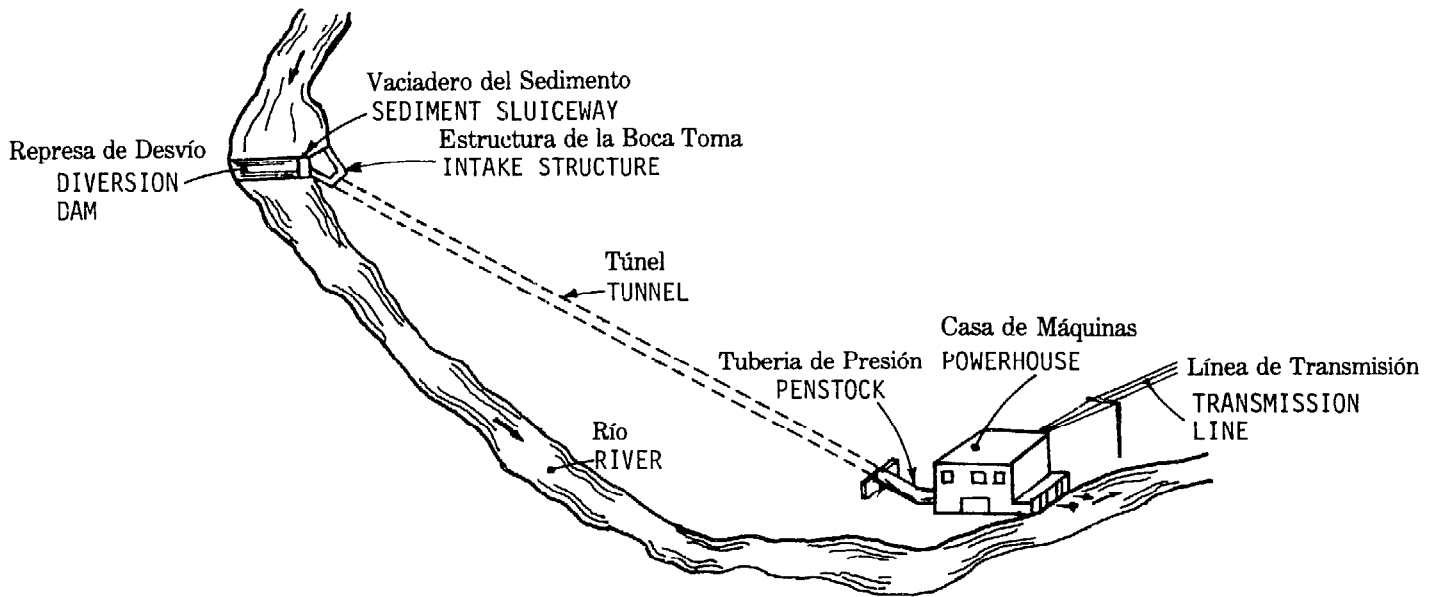


Figura 4 Disposición Típica de una Facilidad de Alta Caída con Túnel de Potencia  
 Figure 4 Typical Arrangement of a High-Head Facility with Power Tunnel

ticularmente en sus extremidades inferiores. Aunque en la última década se han desarrollado rápidamente máquinas de perforación de túneles, no resulta práctico perforar un túnel más pequeño que 2.5 metros de diámetro. Como un túnel de estas dimensiones pueden suministrar suficiente flujo para facilidades que desarrollen energía de 100 megawatts o más, rara vez sería económicamente factible para una planta pequeña. Además, en cualquier túnel largo habrá gran cantidad de rocas que necesitarán ser acarreadas a otro lugar lo cual podría representar un problema en un pequeño cañón empinado. En la mayoría de las rocas, una máquina perforadora de túnel deja paredes muy lisas lo cual resulta en baja pérdida de energía. Los coeficientes de resistencia ( $f$ ) para la ecuación

$$(3) \quad h_l = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

están en el rango de 0.222 para un túnel de 2.5 metros de diámetro. En la ecuación (3)  $L$  es la longitud del túnel en metros,  $R$  es el radio hidráulico en metros.  $V$  es la velocidad promedio del agua en el túnel en metros por segundo,  $g$  es la aceleración debida a la gravedad (9.8 metros por segundo por segundo), y  $h_l$  es la pérdida de energía expresada en metros de agua.

Debido a la alta estática y a posibles altas presiones transitorias experimentadas en la extremidad inferior

turbines, it may be feasible to design the penstock with enough strength to withstand the necessary static and transient pressures. For those cases, a simultaneous bypass valve is not required.

An isolation valve, usually a butterfly valve or gate valve should always be installed immediately upstream of the turbine where more than one turbine draws water from the same penstock. Closing this valve will make inspection and repair of the turbine possible without stopping the remaining units. For turbines such as a Francis unit, it will also be necessary to provide a means to prevent water from entering the draft tube during shutdown for inspection and repair. This is usually done by the use of bulkheads, or bulkhead gates which can be lowered into position at the outlet end of the draft tube. Figure 5 shows both an isolation valve and downstream bulkhead gates for a typical Francis turbine installation.

If the bottom of the river canyon is wide enough to provide for installation of a conduit (penstock) along one bank, the result will always be cheaper than a tunnel along the same route. Floods may seriously damage the conduit if it is too near the river. In addition, rock slides from the canyon walls may be a threat to the conduit. These possibilities must be considered in the analysis

del túnel, a menudo es necesario utilizar revestido de acero en esta sección. El revestido de acero se debe llevar suficientemente lejos agua arriba para asegurar que las rocas de alrededor del túnel tengan suficiente refuerzo para soportar las presiones requeridas.

En los lugares donde se puedan usar cañerías de presión muy cortas para acarrear el agua del túnel a las turbinas, será factible diseñar dichas cañerías de presión suficientemente fuertes como para soportar las presiones estáticas y transitorias necesarias. En dichos casos no se necesita una válvula de desvío.

Usualmente una válvula de aislamiento, por lo general una válvula de mariposa o válvula de compuerta se instala inmediatamente por arriba de la turbina cuando más de una turbina toman el agua de la misma cañería de presión. Cuando se necesite inspeccionar o reparar la turbina, si se cierra esta válvula se podrá proceder sin parar las otras unidades. En turbinas tales como una unidad Francis también será necesario proveer un medio de prevenir que el agua entre en el tubo de aire durante paros para la inspección o reparación. Esto se hace por lo general mediante el uso de malecones, o compuertas de malecón que se puedan bajar en posición en el extremo de salida del tubo de aire. La Figura 5 ilustra una válvula de aislamiento y compuertas de malecón aguas abajo para una instalación típica de turbinas Francis.

Si la base del cañón del río es suficientemente amplio para permitir la instalación de un conducto (cañerías de presión) a lo largo de un banco, el resultado será más barato que un túnel a lo largo de la misma ruta. Las crecientes pueden dañar seriamente el conducto si estuviere muy cerca del río. Además, los deslizamientos de rocas de las paredes del cañón pueden amenazar a dicho conducto. Estas posibilidades deben ser consideradas en el análisis económico del proyecto. Las consideraciones del diseño del conducto son por lo general las mismas que las que se describen para las cañerías de presión en la sección anterior.

## **Mantenimiento**

La operación de plantas hidroeléctricas pequeñas o de mayor tamaño puede ser totalmente automática con un operador en un lugar remoto, que opere varias plantas simultáneamente. La información relativa a la energía generada, la temperaturas de los rodamientos, la apertura de las compuertas, los ajustes de las máquinas, el flujo de la corriente, y las elevaciones de la superficie del agua, deben ser transmitidos por control remoto. Estas instalaciones

of project economics. Design considerations of the conduit are generally the same as described for the penstock in the previous section.

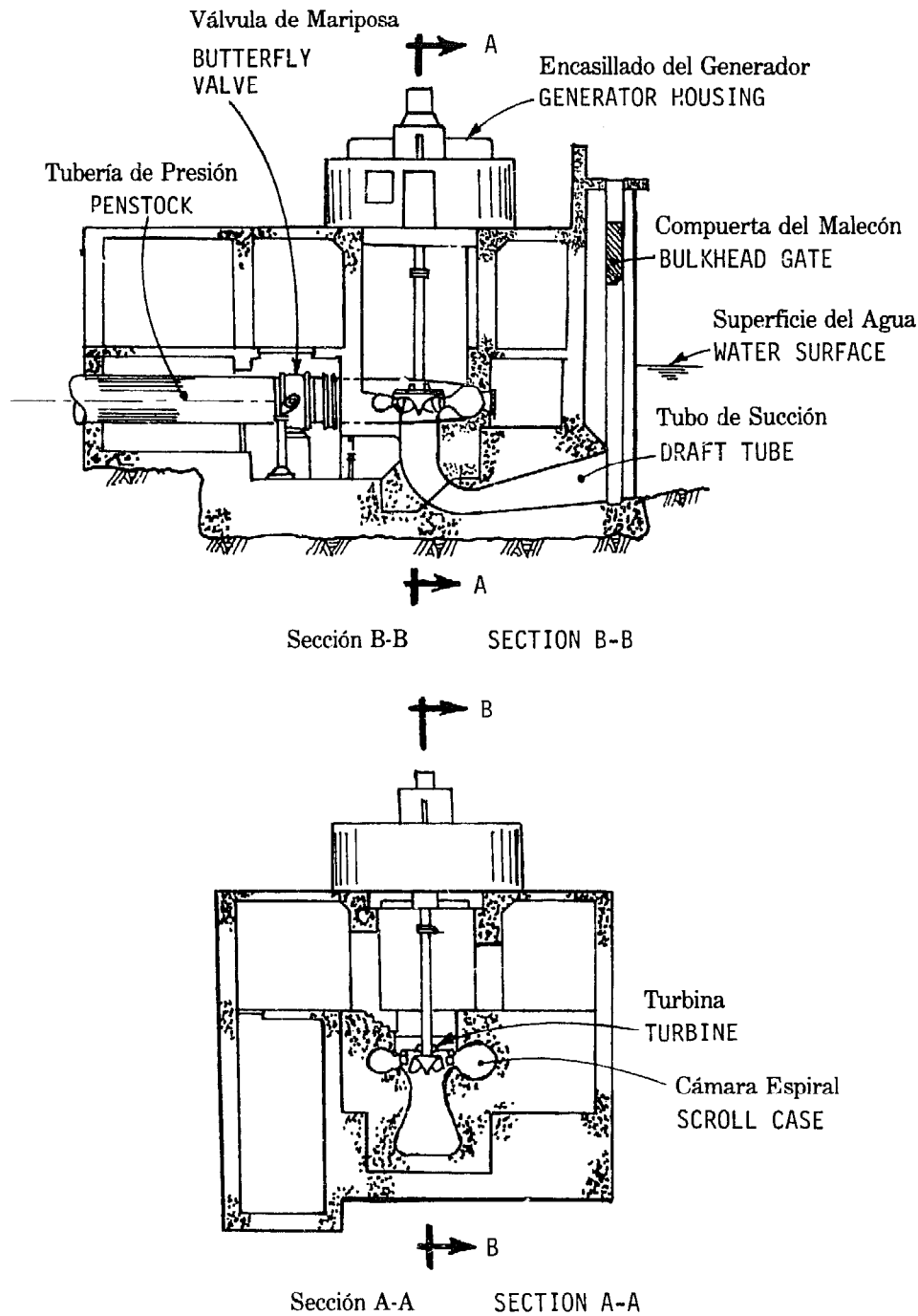
## **Maintenance**

Operation of small or large hydroelectric plants can be fully automatic with one operator, at a remote location operating several plants simultaneously. Information on power being generated, bearing temperatures, gate openings, machine settings, streamflow, and water-surface elevations must be transmitted remotely. These automated installations require technicians, trained in electronic diagnosis and service for maintenance of the operation controls and information transmitters and receivers.

Maintenance of machinery and valves must be conducted at regular intervals to insure reliable operation in time of need. All gates and valves should be operated throughout their full range at least monthly. Valves and gates alike tend to rust or accumulate sand in their guides which can render them inoperable. Both motorized and manual operators suffer from the same problems. Maintenance workers, charged with this program, need not be highly skilled unless they are required to machine new parts for valves or other equipment. Spares can be stocked for small standard valves and gates. However, for large especially-constructed items, repairs will generally have to be made in the field. Thus, the maintenance staff must include a welder and often a machinist for large facilities. For small facilities, malfunctioning valves and gates can be replaced with spares and the old part then transported to a centralized shop for repair. This could also be done for very small turbines, regulators, generators, and transformers.

Most organizations operating several facilities will have specialized maintenance crews which travel from plant to plant as required. For organizations operating only one facility, it may be impractical to maintain a skilled maintenance crew and spare gates, valves, and units should be stocked at all times. In such cases, designs should use identical valves, gates and units wherever possible.

Regular inspections of canals, diversion dams, spillways, regulating gates, penstocks, and conduits are extremely important. The required frequency of these inspections will vary with the season. During the flood seasons, daily inspections should be conducted in order to watch for threats due to high river flows or landslides. Such



**Figura 5 Instalación Típica de la Turbina Francis**

**Figure 5 Typical Francis-Turbine Installation**

automáticas requieren técnicos entrenados en el diagnóstico electrónico y servicio de mantenimiento de los controles de operación y los transmisores y receptores de información.

El mantenimiento de la maquinaria y las válvulas deben ser conducidos a intervalos regulares para asegurar la buena operación en el momento de necesidad. Todas las compuertas y válvulas deben ser operadas a su capacidad completa por lo menos una vez al mes. Las válvulas al igual que las compuertas tienden a herrumbrarse o a acumular arena en sus

threats may include scour around support piers or unusually large forces on conduits placed alongside the river, debris collecting on trashracks at regulating gates at the diversion dam, large deposits of gravel and sediment at the diversion dam, unacceptable scour below the diversion dam, or abnormally high tailwater. Landslides may displace canals or conduits and can fill canals with debris causing overtopping of the canal and abnormally high sediment loads moving toward the turbine penstocks.

guías lo cual puede impedir su funcionamiento. Tanto operadores manuales como motorizados confrontan el mismo problema. Los operarios del mantenimiento, a cargo de este programa, no necesitan tener mucha destreza a menos que necesiten fabricar partes nuevas para las válvulas u otros equipos. Se puede tener una reserva de pequeñas válvulas o compuertas normales. No obstante, en cuanto a los artículos grandes construídos especialmente, las reparaciones se deben efectuar generalmente en el campo. Así pues, el personal de mantenimiento debe incluir un soldador y muchas veces un maquinista, para las facilidades mayores. Para las facilidades pequeñas, las válvulas y compuertas que no funcionen pueden ser reemplazadas y las partes viejas transportadas a un taller central para su reparación. Se puede hacer lo mismo para las turbinas, reguladores, generadores y transformadores muy pequeños.

La mayoría de las organizaciones que operen varias facilidades tendrán equipos especializados en el mantenimiento, que irán de una planta a otra conforme a la necesidad. En cuanto a las organizaciones que operen una sólo facilidad, no sería práctico mantener un equipo de técnicos y se deberá mantener en todo momento una cantidad de válvulas, compuertas y unidades de repuesto. En tales casos, siempre que sea posible los diseños deberán utilizar válvulas, compuertas y unidades idénticas.

Es muy importante realizar regularmente las inspecciones de los canales, las represas de desvío, vertederos, compuertas de regulación, cañerías de presión y conductos. La frecuencia requerida de estas inspecciones variará conforme a la estación. Durante la estación de las inundaciones se ha de realizar inspecciones diarias para prevenir la posibilidad de amenazas causadas por flujos de ríos desbordados o deslizamientos de tierra. Tales amenazas pueden incluir derrumbamiento al rededor de los pilares de soporte o fuerzas desusadamente grandes aplicadas a los conductos en su trayecto a lo largo del río, basuras colectadas en las rejillas protectoras de las compuertas reguladoras de las represas de desvío, grandes depósitos de grava o sedimento en la represa de desvío, derrumbamiento peligroso por debajo de la represa de desvío, o aguas de salida anormalmente altas. Los deslizamientos pueden desplazar canales o conductos y pueden llenar los canales con basura causando el desborde del canal y cargas anormalmente altas de sedimento en movimiento hacia las cañerías de presión de las turbinas.

La inspección durante períodos de emergencia debe ser realizada por alguna persona con experiencia y

Inspección durante emergencias debe ser hecha por alguien experimentado y bastante familiar con la operación del proyecto, usualmente un ingeniero o alguien entrenado por un ingeniero.

## Low-Head Designs

Los tipos más comunes de turbinas de baja cabeza son el tipo hélice, tipo bulbo y tipo tubo. Varias diseños propietarios de unidades pequeñas han sido desarrollados con nombres comerciales particulares, pero en general todos caen en una de estas tres categorías. El generador de borde es un tipo que tiene la ventaja de tener el armadura del generador como parte del rotor, así, eliminando un conjunto de partes móviles y requiriendo menor espacio que una turbina tipo tubo y su generador asociado.

En casi todos los casos, una instalación de baja cabeza será incorporada en una represa. En general, el diseño requerirá un aliviadero para pasar las crecidas, una casa de fuerza (o al menos una cubierta) en la que se monten las unidades, y la represa misma. El desafío del diseño surge al desarrollar un diseño seguro, pero económicamente factible.

La estructura más común sería una represa de tierra o relleno de rocas con un aliviadero en un abutamiento y con turbinas y generadores instalados en una sección de gravedad de concreto cerca del abutamiento opuesto. La figura 6 muestra un típico diseño de este tipo. Uno de los problemas con desarrollos de este tipo es que las crecidas sobre el aliviadero aumentan la elevación del agua aguas abajo. Esto produce una disminución de la cabeza operativa en la turbina. Además, el aliviadero debe estar ubicado de modo que las crecidas no tiendan a formar una barra de grava debajo de las salidas de las turbinas, haciendo retroceder el agua y reduciendo así la cabeza operativa en las turbinas.

Debido a la baja cabeza involucrada es también deseable hacer los conductos que van a las turbinas y los tubos de draft que salen de ellas tan suaves y libres de curvas como sea posible en orden de minimizar las pérdidas de energía producidas por la resistencia al flujo. Los tipos bulbo, tubo y generador de borde son particularmente bien adaptados a esta necesidad debido a su flujo de paso directo. La figura 7 muestra secciones típicas para los cuatro tipos diferentes de turbinas de baja cabeza.

La parte más costosa del flujo de paso para estas unidades de baja cabeza son las transiciones de rectangular a circular y de vuelta a rectangular. En cada caso, las compuertas o

con total familiaridad con la operación del proyecto, usualmente un ingeniero o alguna persona que haya recibido entrenamiento de un ingeniero.

### Diseños de Baja Caída

Los tipos más comunes de turbinas de baja caída son las de hélice, de bulbo y tipo a tubo. Se han desarrollado varios diseños de propiedad de pequeñas unidades bajo particulares marcas de fábricas, pero en general caen en una de estas tres categorías. El generador de llanta es un cuarto tipo que tiene la ventaja de que la armadura es parte del rotor, eliminando así un juego de piezas movibles y requiriendo menos espacio que la turbina de tubo y el generador asociado.

En casi todos los casos, una facilidad de baja caída será incorporada en una represa baja. En general, el diseño requerirá un vertedero para acarrear el flujo de los desbordes, una casa de máquinas (o por lo menos un patio de distribución) sobre el cual montar las unidades y la represa misma. El desafío del diseño consiste en desarrollar un diseño económicamente factible al mismo tiempo que incorpore seguridad.

bulkheads must be provided in order to isolate the unit during inspection and/or repair. Most commonly, vertical lift gates are provided on the upstream side. Wheel gates will be necessary if they are to be used for turbine shutoff since operation will be required under unbalanced pressure. If flow is controlled by turbine wicket gates, bulkheads can be installed both upstream and downstream since they can then be installed or removed under balanced pressure conditions.

Trashracks which can be cleaned readily must always be installed upstream from these units. Velocities through the trashracks should be held to approximately 1 meter/second. Vibration and failure through fatigue have been common occurrences in these trashracks.<sup>4</sup> Designs can be developed to prevent vibration as long as flow approaching the racks is directed normal to the plane of the rack. A component parallel to the face of the rack will produce vibration even at very low velocities. Failure of trashracks can occur in hours.

Modern designs have been developed to incorporate spillways and turbine and generating units

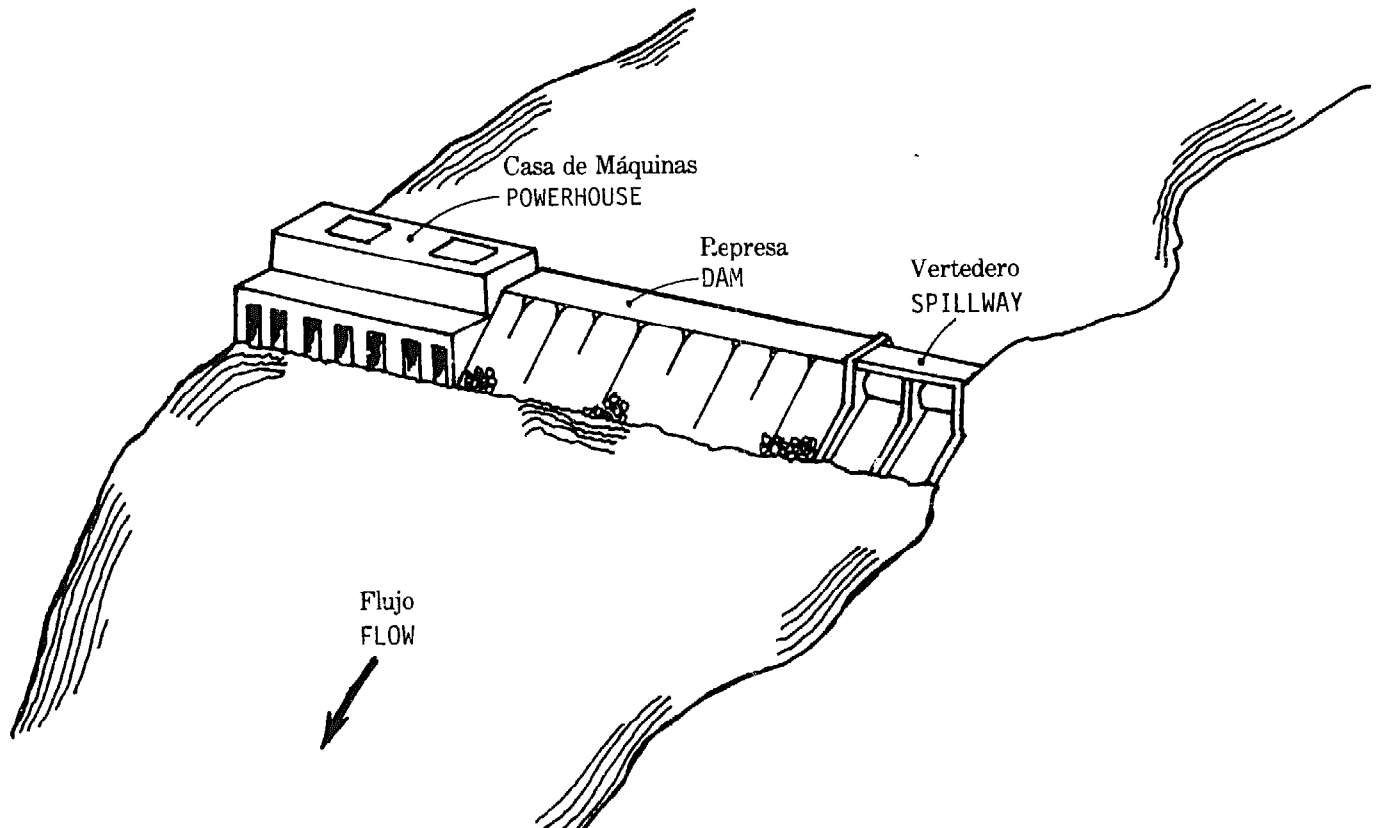


Figura 6 Colocación Típica de la Represa, Vertedero y Casa de Máquinas  
Figure 6 Typical Layout of a Dam, Spillway, and Powerhouse



La estructura más corriente será una represa rellena con arena o con rocas, con un vertedero para el sobreflujo en un contrafuerte, y con las turbinas y generadores instalados en una sección de concreto por gravedad cerca del contrafuerte opuesto. La Figura 6 indica una distribución típica de este tipo. Uno de los problemas con los proyectos de baja caída de este tipo es que la elevación de las aguas descargadas aumenta la corriente inferior causada por el flujo del desborde sobre el vertedero disminuyendo la caída de operación en la turbina. Además, el vertedero debe estar ubicado de tal modo que los flujos del mismo no tiendan a construir una barrera de grava bajo las salidas de la turbina, amontonando el agua y reduciendo aún más la caída de operación de las turbinas.

Por causa de las bajas caídas en cuestión, también es deseable que los conductos que vayan a las turbinas y los tubos de aire que de allí partan, sean tan lisos y libres de curvaturas como sea posible a fin de minimizar las pérdidas de energía producidas por la resistencia al flujo. Las turbinas de bulbo, de tubo y de l'anta, se adaptan particularmente bien a esta necesidad por causa de la característica de fácil flujo. La Figura 7 ilustra secciones típicas de los cuatro diferentes tipos de turbina de baja caída.

La porción de mayor costo de los pasajes de flujo para estas unidades de baja caída son las transiciones de rectangular a circular y de nuevo a rectangular. En cada caso, se deben proveer compuertas o malecones para aislar la unidad durante la inspección o la reparación. Lo más común es el uso de compuertas verticales de alza que se colocan en la extremidad superior de la corriente. Las compuertas rotatorias serán necesarias si se las ha de usar para los paros de la turbina ya que se ha de requerir operación bajo presión desnivelada. Si la corriente es controlada por medio de compuertas de mariposa, se deben construir malecones tanto en el extremo superior como en el inferior de la corriente ya que se los puede instalar o remover bajo condiciones de presión balanceada.

Se deben construir rejillas protectoras contra la basura que se puedan limpiar con facilidad, más arriba de donde están instaladas estas unidades. Las velocidades de pasaje a través de estas rejillas protectoras contra la basura se deben mantener aproximadamente a 1 metro por segundo. Las vibraciones y la falla por ajetreo son ocurrencias comunes en estas rejillas contra basura.<sup>4</sup> Se pueden desarrollar diseños para prevenir las vibraciones siempre que el flujo que se aproxima a la rejilla tenga dirección normal al plano de la rejilla. Un componente paralelo a la cara de la rejilla producirá vibraciones

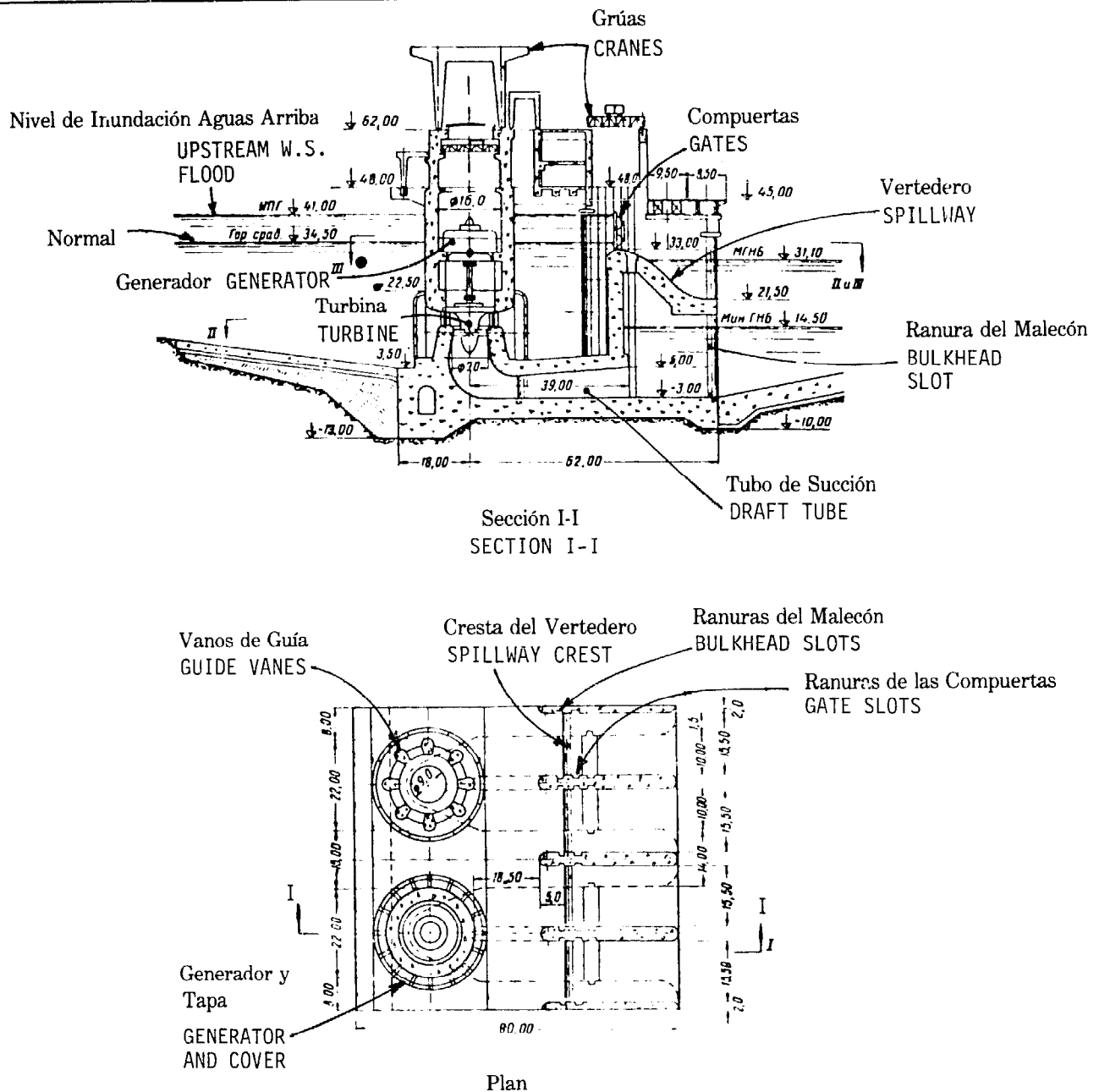
in the same structure. In some designs, called a Hydrocombine,<sup>5</sup> the flow from the spillway is directed over the top of flow from the turbine draft tube as shown in Figure 7. The flood flow tends to produce a negative pressure at the outlet of the turbine draft tube, thus, helping to counteract the tendency toward reduction of generating head during flood flows. Spillways located over the generating facilities can be controlled by almost any type of gate such as bascule gates, radial gates, or vertical lift gates. Inflatable bags which are fastened to the spillway crest can also be used effectively. They may be deflated during flood season and inflated during low-flow periods.

Simplified low-head installations have been proposed as shown in figure 8. In the case of the timber dam, maintenance costs will be significantly higher than for an equivalent concrete structure. Expected life of the structure would be less than 20 years with timber structures while equivalent concrete structures will last well past 50 years if care is exercised in obtaining quality concrete. The most frequent problem in concrete structure involves alkaline substances in the aggregate which causes chemical reactions with cement resulting in cracking and sometimes severe deterioration of the concrete.

## Maintenance

As in high-head installations, gates and valves should be operated at least monthly in order to assure the ability to operate when required. If several gates are involved, they should be identical in design, and acquisition of a spare gate should be considered in the case of damage produced by floating debris or deterioration. Turbine units should be isolated and inspected for damage annually. If the facility involves more than one unit, inspection can be performed on one unit at a time.

Low-head plants can be operated manually or remotely. For remote operation, it is desirable to telemeter information on stage and rate of flow in the river, upstream gate settings, turbine settings, and power output, bearing temperatures, and tailwater stage to the control center. Unit and control maintenance requires the same as does a high-head unit. However, for a low-head unit, flood flows may create greater concern since large flows may damage the dam as well as the generating units.



**Figura 7 Represa de Baja Caída, "Hidrocombinado"**  
**Figure 7 Low-Head Dam, "Hydrocombine"**

aún a velocidades muy bajas. Las fallas en las rejillas protectoras contra la basura pueden ocurrir en pocas horas.

Se han desarrollado diseños modernos que incorporan vertederos y unidades de turbina y generador en la misma estructura. En algunos diseños denominados Hidrocombinado<sup>5</sup>, el flujo del vertedero se dirige sobre el tope del flujo del tubo de la corriente de descarga de la turbina como se ilustra en la Figura 7. El flujo del desborde tiende a producir presión negativa en la salida del tubo de la cor-

A detailed inspection of the dam should be made at least annually to insure the structural integrity of the dam and its abutments. Structural cracks, leaks through the dam, and leaks through abutments should be noted and observed frequently to note any changes. Permanent survey monuments should be installed in the dam during construction so that annual survey measurements can be made to detect any tendency toward movement. Piezometers should be installed in the dam foundation and the water

riente de descarga de la turbina, ayudando así a contrarrestar la tendencia hacia la reducción de la caída generadora durante los flujos de desborde. Los vertederos colocados por encima de las facilidades generadoras pueden ser controlados por casi cualquier tipo de compuerta tales como compuertas de báscula, compuertas radiales o compuertas de alza verticales. También se pueden utilizar efectivamente las bolsas que se pueden inflar, aseguradas a la cresta del vertedero. Se las puede desinflar durante la estación de las inundaciones e inflarles durante los periodos de bajo-flujo.

Se han propuesto instalaciones simplificadas de baja caída conforme se ilustra en la Figura 8. En el caso de una represa de troncos, el costo de mantenimiento será mucho más elevado que para una estructura equivalente de concreto. La duración de la estructura de troncos, sería de menos de 20 años mientras que las estructuras equivalentes de concreto durarían más de 50 años si se hace un esfuerzo para conseguir concreto de buena calidad. El problema más frecuente en estructuras de concreto se relaciona con sustancias alcalinas en el agregado que producen reacciones químicas en el concreto que produce rejaduras y a veces deterioración severa en la estructura.

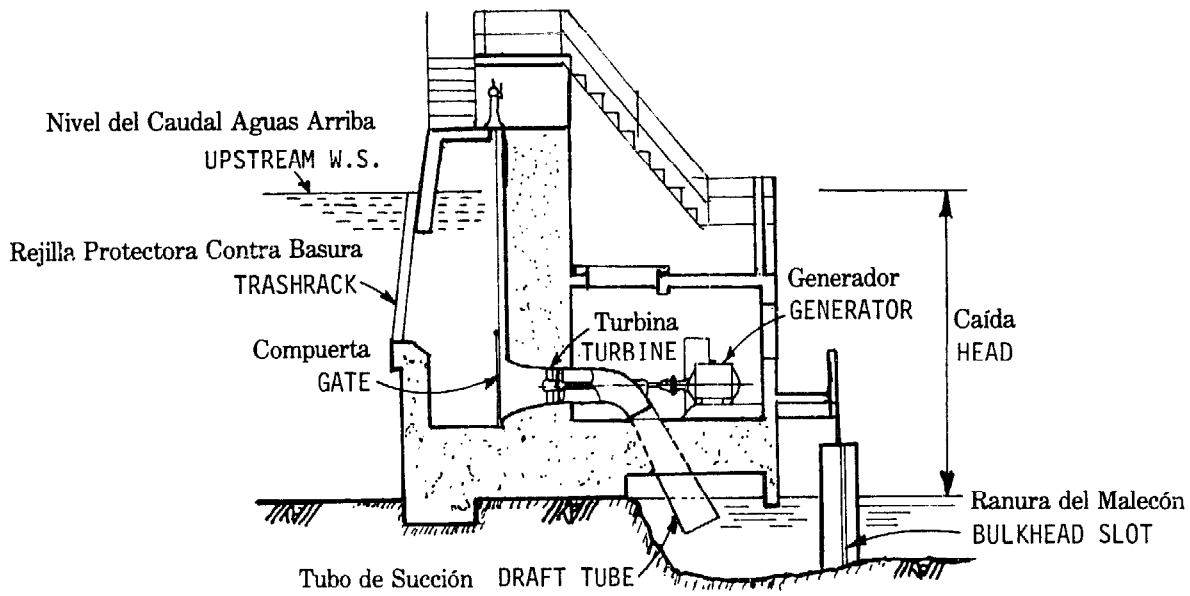
## **Mantenimiento**

Como en las instalaciones de alta caída, las compuertas y las válvulas deben ser operadas por lo menos una vez al mes para asegurar que estén en funcionamiento cuando se las necesite. Si hay varias compuertas, deben ser de idéntico diseño y se debe considerar la adquisición de una compuerta de repuesto para el caso de daños producidos por basura flotante o deterioración. Las unidades de la turbina deben ser aisladas e inspeccionadas anualmente para determinar los daños. Si la facilidad tiene más de una unidad, se las debe inspeccionar una por vez.

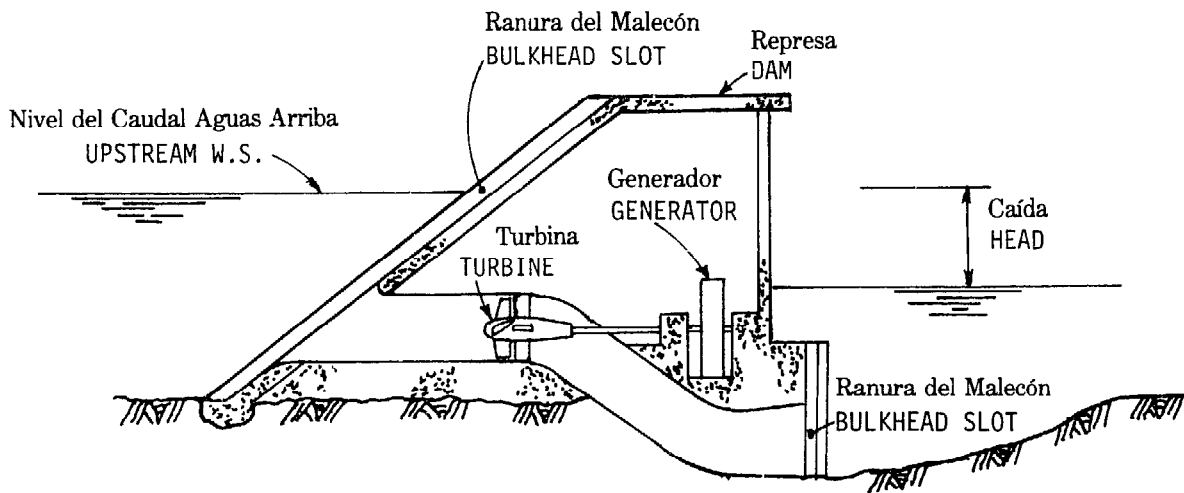
Se pueden operar las plantas de baja caída manualmente o a control remoto. Para operación remota, es deseable telemetrar la información sobre el nivel y la proporción del flujo del río, ajustes de las compuertas superiores, ajustes de la turbina y energía de salida, temperaturas de los rodamientos y nivel del agua de salida al centro de control. El mantenimiento de la unidad y control requiere lo mismo que una unidad de alta caída. No obstante, para unidades de baja caída, el flujo de las inundaciones puede crear mayor preocupación ya que los flujos mayores pueden dañar las represas así como también las unidades de generación.

level in those piezometers should be monitored at least monthly to detect any sudden changes in pressure under the dam.






A) Instalación de una Linidad con Propulsor Horizontal  
 A) HORIZONTAL PROPELLER-UNIT INSTALLATION



B) Instalación de una Turbina de Tubo  
 B) TUBE-TURBINE INSTALLATION

**Figura 8 Represas y Turbinas de Baja Caída**  
**Figure 8 Low-Head Dams and Turbines**

Se debe efectuar una inspección detallada de la represa por lo menos una vez al año para asegurar la integridad estructural de la represa y sus soportes de refuerzo. Se debe hacer frecuentes observaciones para notar rajaduras en la estructura, filtración o pérdida a través de la represa y filtraciones a través de los soportes de refuerzo. Se deben instalar monumentos de inspección en la represa durante su construcción de tal modo que se puedan hacer inspecciones anuales para descubrir cualquier tendencia hacia el movimiento. Se deben instalar piezómetros en el cimiento de la represa y el nivel de agua en dichos piezómetros debe ser inspeccionado por lo menos una vez al mes para notar cambios súbitos en la presión debajo de la represa.



## References

1. *Design of Small Dams*, U.S. Water and Power Resources Service (formerly U.S. Bureau of Reclamation), Department of the Interior, Denver, Colorado, U.S.A. 1974
2. Gordon, J.L., "Vortices at Intakes," *Water Power*, April 1970, pp. 137-8.
3. Mercer, A.G., "Stability Criteria for Design of Howell Bunger Valves," IAHR Symposium on Cavitation and Hydraulic Machinery, Proceedings, Stockholm, Sweden, 1970.
4. Vigander, S., "Trashrack Vibration Studies," Raccon Mountain Pumped-Storage Project, Laboratory Report No. 1, Tennessee Valley Authority, Norris, TN, October 1974.
5. Namikas, D., "Conceptual Trends for Low-Head Hydroelectric Structures," American Society of Civil Engineers, Annual Convention, Dallas, TX, April 1972.

# Generación Hidroeléctrica

Donald J. Guild  
Roberto E. Iñiguez

---

La perspectiva de todo proyecto de obra civil está condicionada en parte por el costo del capital que requeriría dicha obra. Roberto E. Iñiguez presenta los elementos básicos del costo y suministra una base sobre la cual se pueden estimar los costos actuales.

---

## Relación Turbina/Generador

El generador eléctrico convierte la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica. Los dos componentes esenciales del generador son el rotor y el estator. El rotor es ensamble rotatorio al cual se aplica la torsión mecánica de la turbina. Mediante magnetización o "estimulando" el rotor, se induce un voltaje al componente estacionario, el estator. El mecanismo principal de control del generador es el estimulante-regulador que inicia y estabiliza la energía de salida. La selección de la turbina determina la velocidad del generador excepto cuando viene equipado con un dispositivo para aumentar la velocidad. A continuación se examina la relación entre los generadores y los diversos tipos de turbinas e instalaciones. También se presentan algunas guías sobre el costo.

### Mini Proyectos Hidroeléctricos

Los generadores con capacidad de 1000 kW o menos se compran por lo general incluidos con la turbina. Hay una variedad de diseños en el mercado que utilizan turbinas de tipo a reacción o a impulso. La velocidad del generador es comunmente de 900, 1200 como 1800 rpm para centrales de 60 ciclos. Si la caída efectiva de la turbina es suficientemente alta como para obtener estas velocidades se acopla el generador directamente. Con caídas menores se conecta el generador a través de un dispositivo para aumentar la velocidad o una banda de propulsión en forma de V.

### Proyectos Hidroeléctricos Pequeños

Los generadores con capacidad por arriba de 1000 kW se escogen por lo común para obtener las velocidades máximas de operación de la turbina, consistente con la caída, la instalación y la elevación del lugar.

Cuando la caída es de hasta 60 pies se utiliza por lo general una turbina de hélice o tipo Kaplan con o sin

# Hydroelectric Generation

Donald J. Guild  
Roberto E. Iniguez

---

The prospects of any public works project is conditioned in part by the capital costs it will require. Roberto E. Iniguez lays the basic cost elements and provides a basis upon which actual costs may be estimated.

---

## Turbine/Generator Relationship

The electric generator converts the mechanical energy of the turbine into electrical energy. The two major components of the generator are the rotor and the stator. The rotor is the rotating assembly to which the mechanical torque of the turbine shaft is applied. By magnetizing or "exciting" the rotor, a voltage is induced in the stationary component, the stator. The principal control mechanism of the generator is the excitor-regulator which sets and stabilizes the output voltage. The speed of the generator is determined by the turbine selection, except when geared with a speed increaser. Following is a discussion of the relationship between generators and the various turbine types and settings. Some cost guidelines are also presented in the discussion.

### Mini Hydroelectric Projects

Generators with capacities of 1000 kW and below are generally purchased as a package with the turbine. A variety of competitive designs are available using reaction or impulse type turbines. The speed of the generator is generally 900, 1200 or 1800 rpm for 60 H<sub>z</sub> systems. If the effective head of the turbine is high enough to obtain these speeds, the generator is directly coupled. At lower heads, the generator is connected through a geared speed increaser or a V belt drive.

### Small Hydroelectric Projects

Generators with capacities above 1000 kW are generally selected to match the best operating speed of the turbine consistent with the head, setting and site elevation.

At head ranges up to 60 feet, a propeller or Kaplan-type turbine is generally used with and without speed increasers. Efficiency losses of the speed increaser range from 1.5 to 3%. Within

el dispositivo para aumentar la velocidad. La pérdida de la eficiencia del dispositivo para aumentar la velocidad varía de 1.5 a 3%. En este rango de la caída hay disponibles en el mercado turbinas horizontales. El costo del generador para una instalación horizontal es menor que el de una instalación vertical. Con este tipo de caída se debe considerar también turbinas con generadores protegidos en cajas impermeabilizadas y turbinas con el dispositivo para aumentar la velocidad colocados en ángulo recto.

En los casos en que la caída sea entre 60 y 120 pies, las turbinas a hélice y tipo Kaplan deben ser instaladas verticalmente debido a la mayor velocidad. Las turbinas Francis operan a velocidades más bajas, no obstante para esta turbina se puede considerar una instalación horizontal. Es práctica corriente limitar la instalación de la turbina Francis a unidades con un diámetro de descarga del impulsor de 48" o menos.

Cuando la caída es de 120 a 1500 pies se puede operar una turbina tipo Francis a velocidades mayores que una turbina de impulso y los costos serán menores tanto para la turbina como para el generador y la construcción de la planta de energía.

Cuando la caída es de 1500 pies o más se utiliza una turbina a impulso. Para bajas capacidades entre 1000 kW y 5000 se debe considerar turbinas de chorro horizontal simple o doble debido a la reducción en los costos del generador. Por arriba de esta capacidad las turbinas de cuatro a seis bocas son más competentes. Las turbinas de impulso con más de dos bocas de chorro se deben instalar verticalmente.

En síntesis se puede ahorrar costos del generador mediante instalación horizontal y aumento en las velocidades de la turbina. La velocidad de las turbinas de reacción es limitada por los parámetros de la cavitación. El costo de la turbina y la reducción de tamaño es un tanto menor a altas velocidades; no obstante el ahorro del costo del generador es substancial.

### **Costos de la Turbina/Generador**

Las Figuras 1 al 7 contienen cuadros de costos para los diversos tipos de turbinas-generadores. La información utilizada para preparar estos cuadros fue obtenida de los fabricantes de turbina, generador y regulador durante los últimos cinco años y reducidos a un nivel de precio a julio de 1978. No hay listas de precios sobre turbinas ya que la mayoría de las turbinas se diseñan conforme a la necesidad. En términos generales, los costos de turbina y generador por kW instalado disminuye a medida que aumenta la capacidad de la unidad. Además, la caída efectiva

this head range, horizontal turbines are available. The generator cost for a horizontal setting is less than that of a vertical setting. Turbines with generators enclosed in a water tight housing and turbines with right-angle drive speed increasers in water tight housings should also be considered in this head range.

At head ranges between 60 and 120 feet, propeller and Kaplan turbines must be set vertically due to the higher speed. Francis turbines operate at lower speed, however, a horizontal setting could be considered for this turbine. General practice is to limit horizontal setting of Francis turbine to units which have a runner discharge diameter of 48 inches and less.

At head ranges between 120 and 1500 feet, a Francis-type turbine may be operated at higher speeds than an impulse turbine and is more competitive due to lower turbine, generator and power house construction costs.

At head ranges of 1500 feet and above, an impulse turbine is used. In the lower capacity range, a 1000 kW to 5000 kW horizontal single jet or double jet turbine should be considered due to reduction in generator costs. Above this capacity, four and six nozzle turbines are more competitive. Impulse turbines with more than two nozzles must be set vertically.

In summary, savings can be made in generator costs by horizontal setting and increased turbine speeds. The speed of reaction turbines is limited by cavitation parameters. Deeper settings permit increased speeds. The turbine cost and size reduction is somewhat less at higher speed, however, the generator cost savings are substantial.

### **Turbine/Generator Costs**

Cost charts have been prepared for the various types of turbine-generators (Figures 1 through 7). The data used to prepare these charts were obtained from turbine, generator and governor manufacturers over the past five years and escalated to a July 1978 price level. Price lists are not available on turbines as most turbines are custom designed. In general, turbine and generator costs per installed kW decrease as the capacity of the unit increases. However, the effective head available to the turbine has the greatest influence on the cost. The lower the head, the higher the cost per installed kW. This increase is due to the larger size and lower synchronous speed turbine required for the low head

disponible para la turbina tiene gran influencia en el costo. Cuanto menor la caída, mayor el costo por kW instalado. Este aumento se debe a mayores tamaños y menor velocidad sincronizada de las turbinas, requeridos por la aplicación de bajas caídas. Las curvas de los costos pueden ser útiles para fines de planeamiento.

Los cuadros de costo no reflejan desarrollos y normalización recientes ocurridos desde 1978 como consecuencia de la demanda actual en el mercado de turbinas y generadores de menos de 25,000 kW. La Compañía Tudor Engineering mantiene un programa de investigación constante acerca del desarrollo de cuadros de costo actual sobre equipos disponibles comercialmente.

application. The curves are suitable for planning purposes.

The cost charts do not reflect recent developments and standardization which have occurred since 1978 as a result of the current market demand for turbines and generators below 25,000 kW.

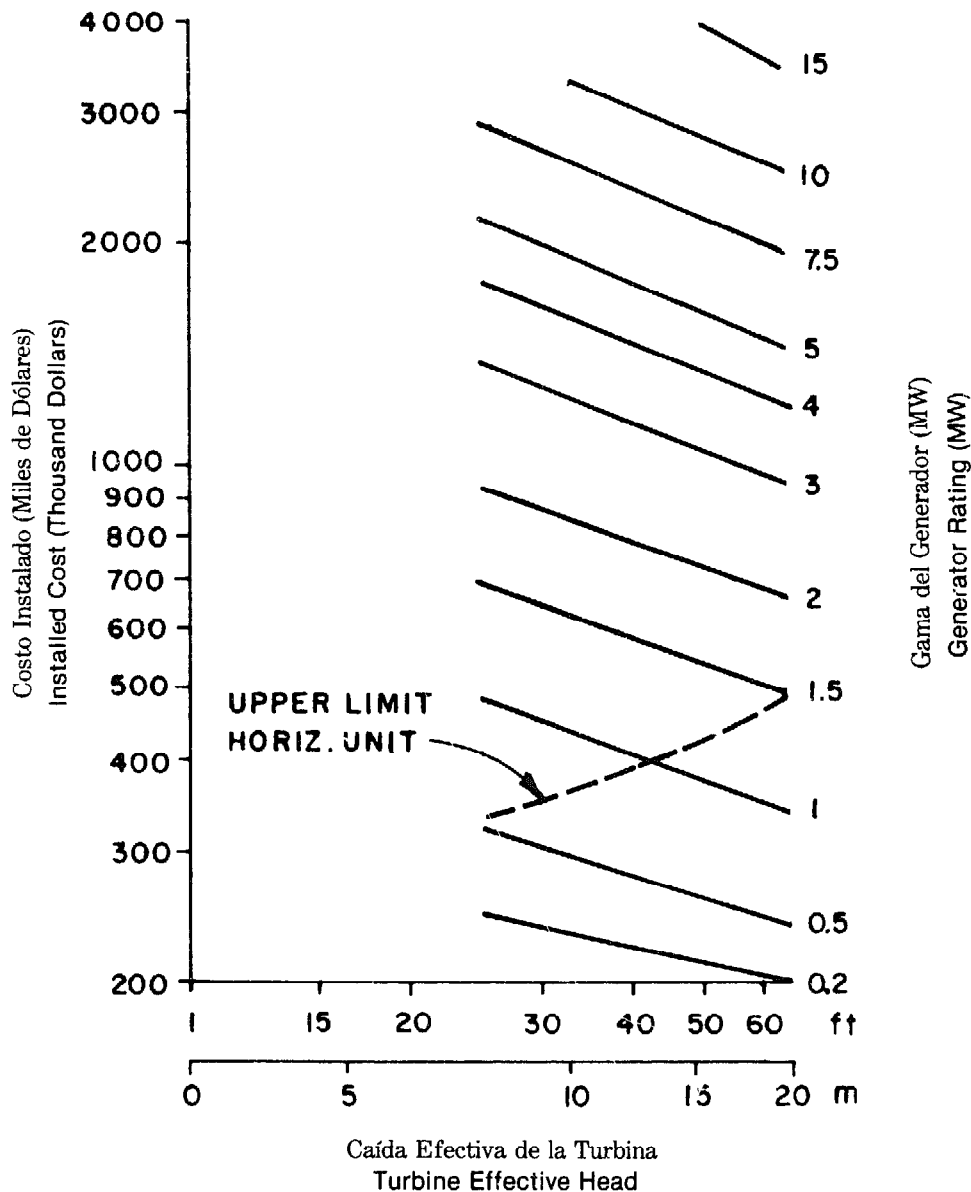


Figura 1 Costos de Turbinas Francis

Figure 1 Francis Turbine Costs

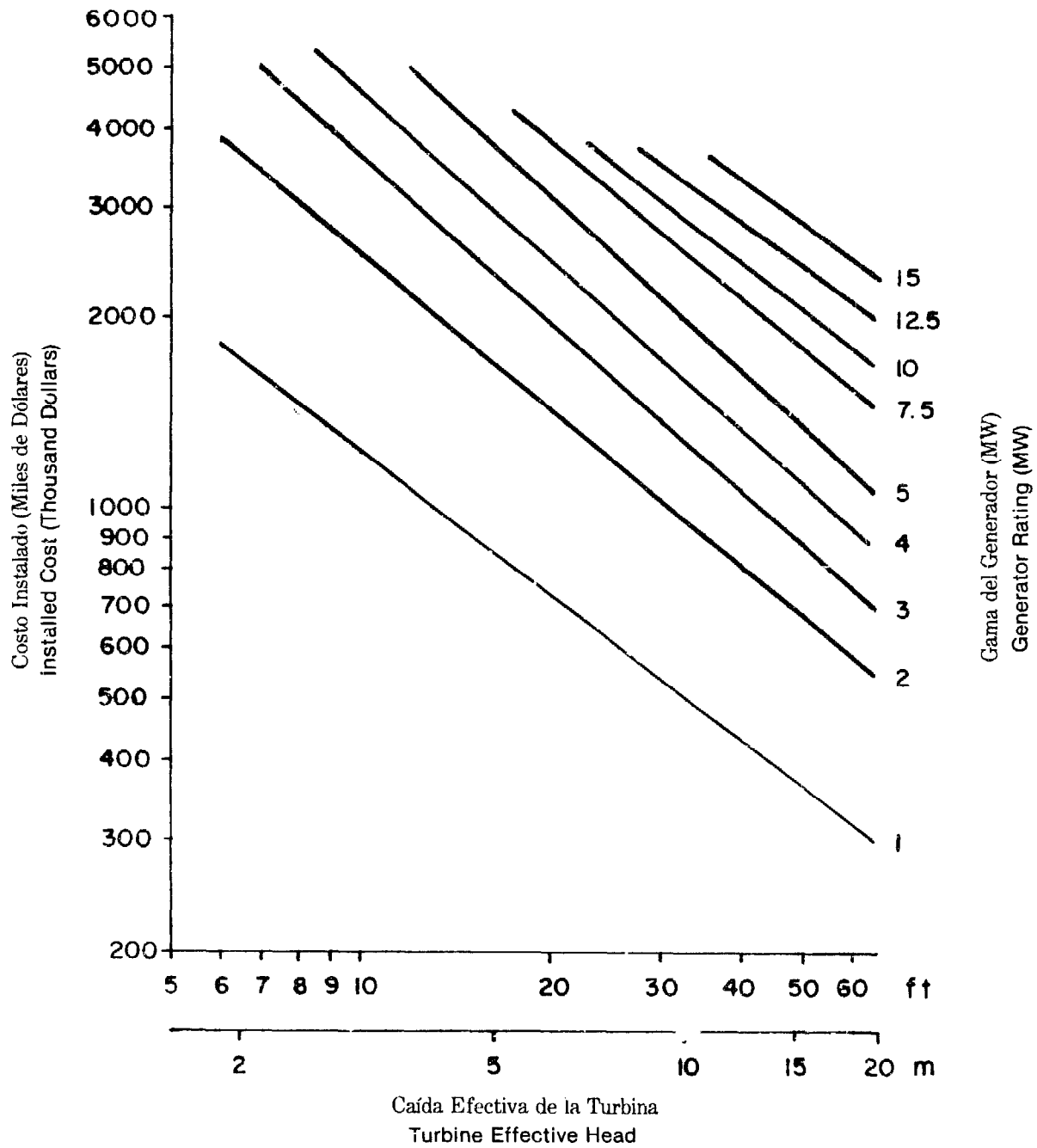


**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina vertical Francis típica, directamente acopiada al generador.
2. Los Costos incluyen una turbina, generador sincronizado, valvula de ingreso, regulador que no controla la velocidad e instalación.
3. Costos de instalación estimados al 15% del costo total de los equipos.
4. \$60,000 agregados para el regulador de la velocidad.
5. Para montaje horizontal, deducir 7% del costo.
6. Base de costo a Julio 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. Estimated costs are based upon a typical vertical Francis turbine direct coupled to the generator.
  2. Costs include a turbine, synchronous generator, inlet valve, non speed regulating governor and installation.
  3. Installation costs are estimated at 15% of the total equipment cost.
  4. Add \$60,000 for speed regulating governor.
  5. For horizontal mounting, deduct 7% of cost.
  6. Cost base is July 1978.
-



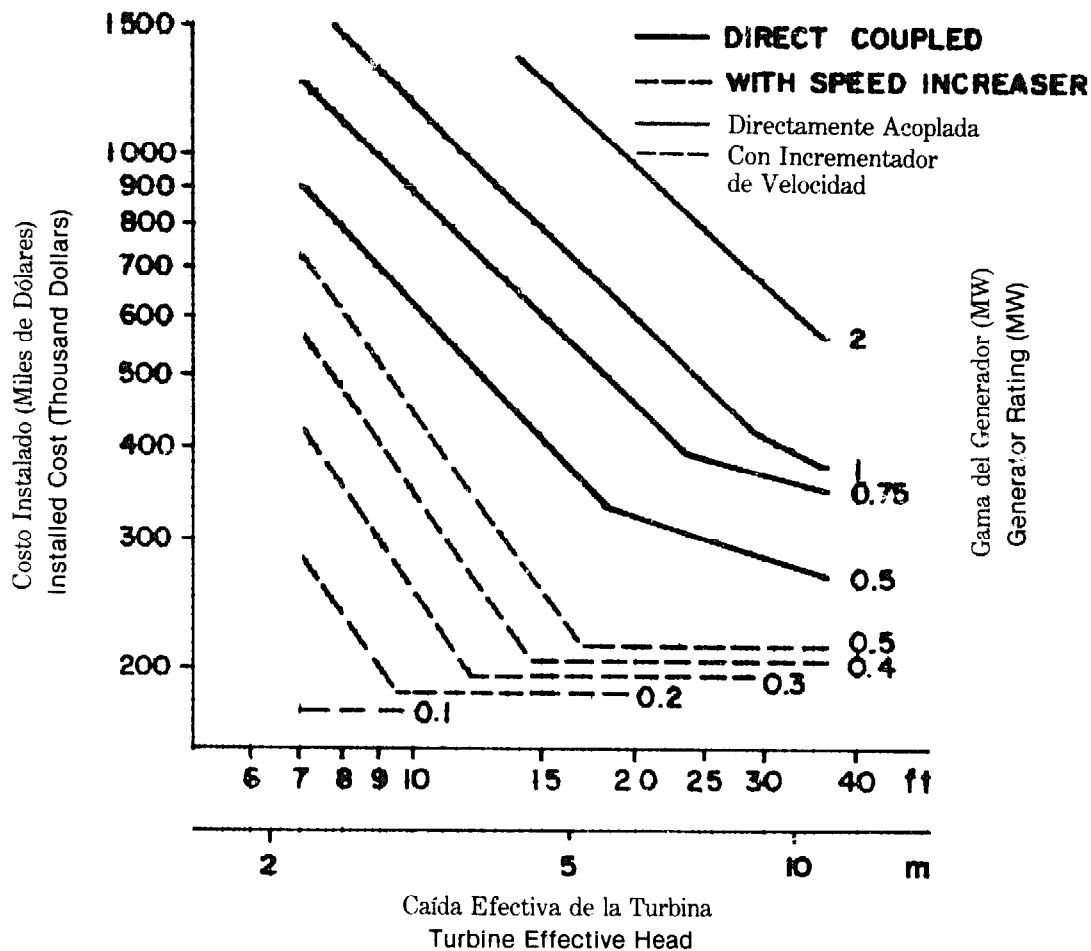
**Figura 2 Costos de Turbina con Propulsor Vertical y Kaplan**  
**Figure 2 Vertical Propeller and Kaplan Turbine Costs**

**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina vertical Kaplan típica con espiral de concreto, directamente acoplada al generador.
2. Costos incluyen una turbina con hélices de rotor y compuertas ajustables, generador sincronizado, regulador de velocidad e instalación.
3. Costos de instalación estimados al 15% del costo total del equipo.
4. Para una turbina a propulsión con paletas fijas, deducir 10% del costo.
5. Para una espiral de acero, agregar 10% del costo.
6. Base de costo a Julio 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. Estimated costs are based upon a typical vertical Kaplan turbine with a concrete spiral case, direct coupled to the generator.
2. Costs include a turbine with adjustable runner blades and wicket gates, synchronous generator, speed regulating governor and installation.
3. Installation costs are estimated at 15% of the total equipment cost.
4. For a fixed blade propeller turbine deduct 10% of cost.
5. For a steel spiral case add 10% of the cost.
6. Cost base is July 1978.



**Figura 3 Costos de Turbina con Acueducto Abierto**

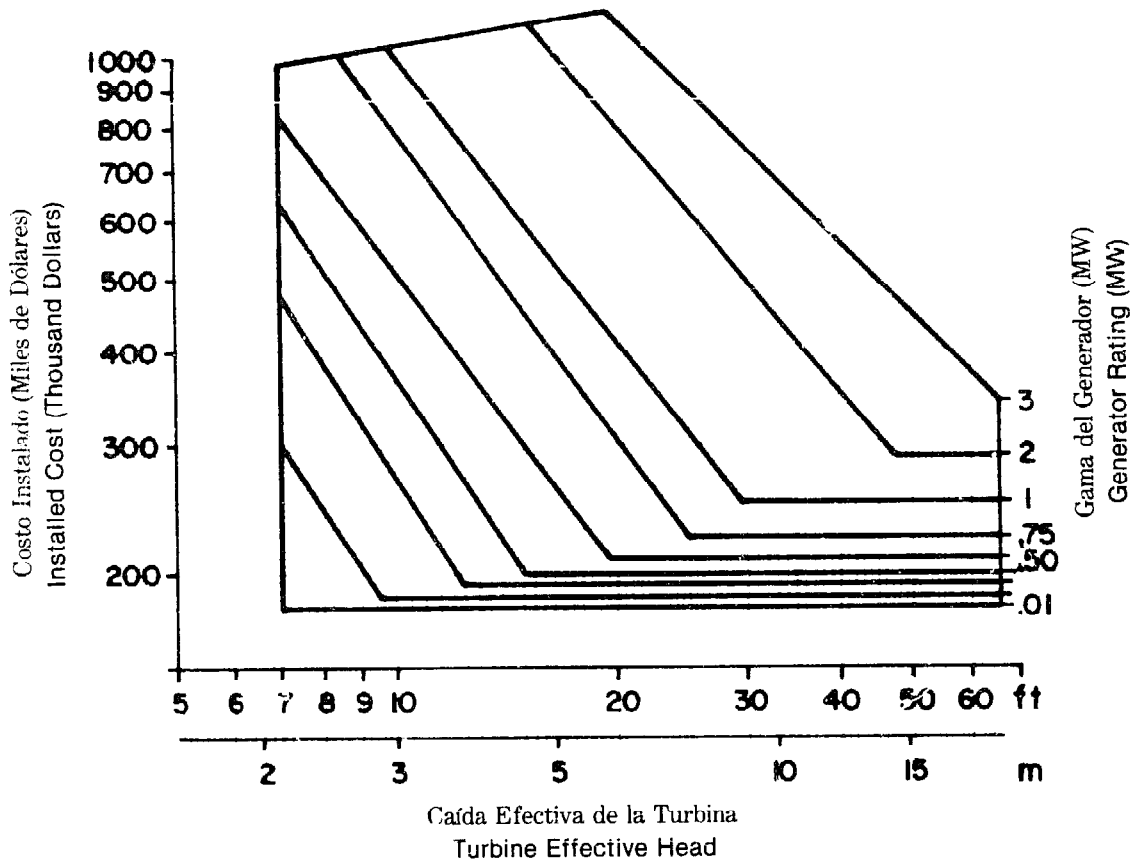
**Figure 3 Open Flume Turbine Costs**

**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina típica a propulsión vertical, acoplada al generador a través de un dispositivo para aumentar la velocidad.
2. Los costos incluyen una turbina con paletas del rotor y compuerta fijas, generador sincronizado, regulador de velocidad, dispositivo para aumentar la velocidad e instalación.
3. Base de costo a Julio de 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The estimated costs are based upon a typical vertical propeller turbine, coupled to the generator through a speed increaser.
2. Costs include a turbine with fixed blade runner and wicket gates, synchronous generator, speed regulating governor, speed increaser and installation.
3. Cost base is July 1978.



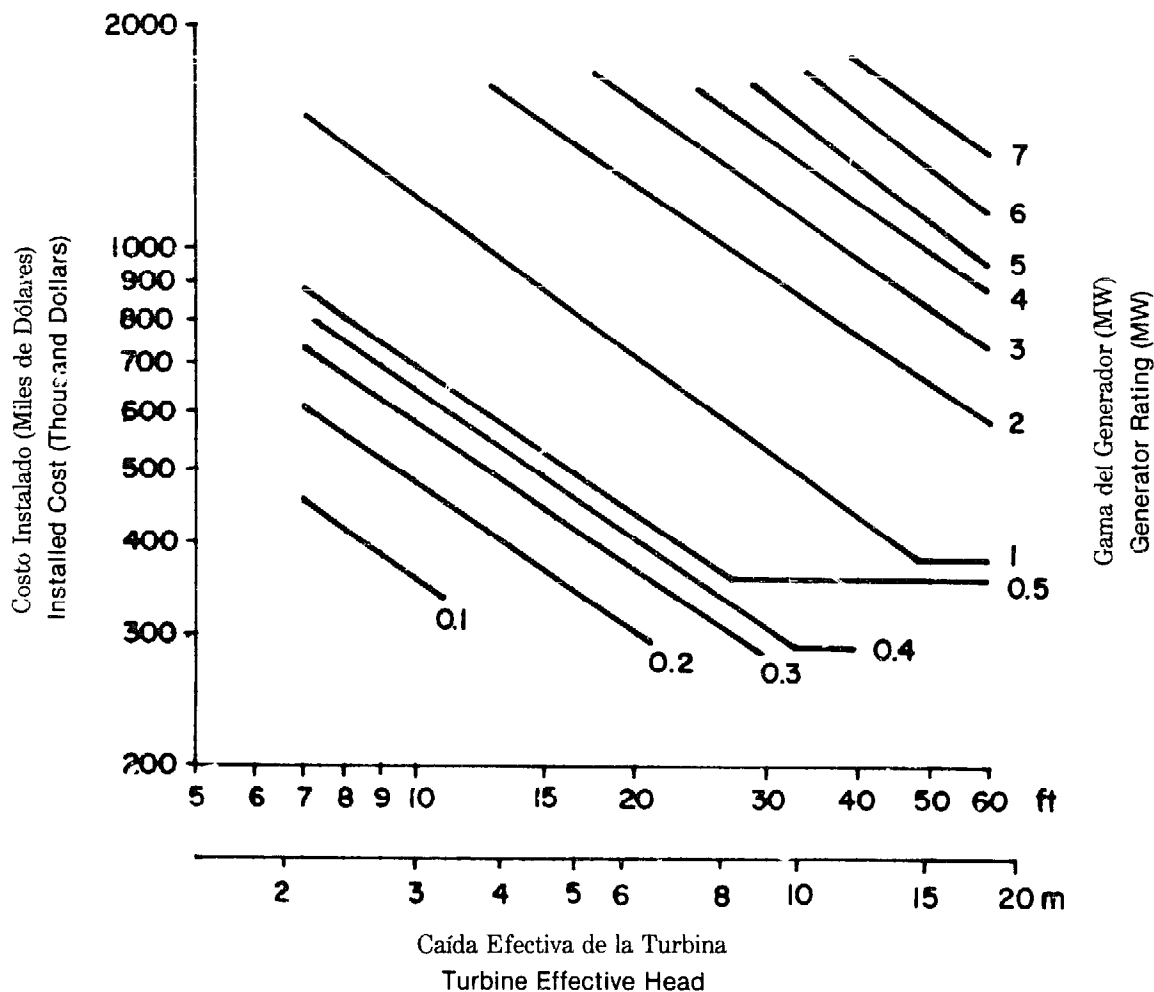
**Figura 4 Costos de Turbina con Acueducto Cerrado**  
**Figure 4 Closed Fiume Turbine Costs**

**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina horizontal típica de cualquier tipo de hélice acoplado al generador mediante un dispositivo para aumentar la velocidad.
2. Los costos incluyen una turbina con paletas del rotor y compuertas fijas, generador sincronizado, dispositivo para aumentar la velocidad, espiral de acero e instalación.
3. Costos de instalación estimados al 15% del costo total del equipo o \$40,000 mínimo.
4. Para unidades verticales, agregar 7% del costo.
5. Base de costo a julio 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The estimated costs are based upon a typical horizontal turbine of either the propeller type coupled to the generator through a speed increaser.
2. Costs include a turbine with fixed blade runner and wicket gates, synchronous generator, speed regulating governor, speed increaser, steel spiral case and installation.
3. Installation costs are estimated at 15% of the total equipment cost or \$40,000 minimum.
4. For vertical units, add 7% of cost.
5. Cost base is July 1978.



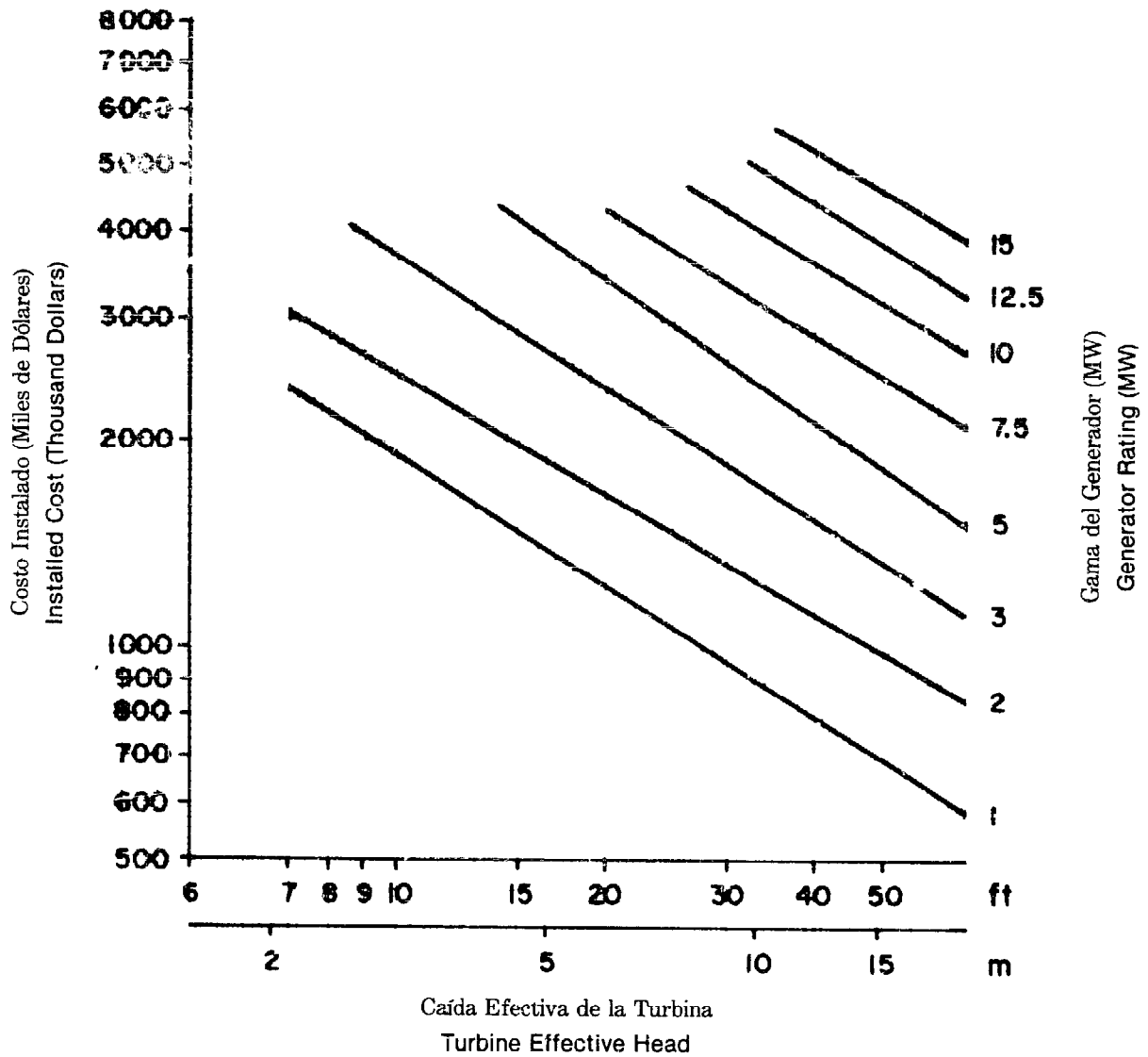
**Figura 5 Costos Standard de Turbina Tubular**  
**Figure 5 Standard Tubular Turbine Costs**

**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina de tubo normalizada, acoplada al generador mediante el dispositivo para aumentar la velocidad.
2. Los costos incluyen una turbina con paletas del rotor ajustables y vanos de guía fijos, válvula de mariposa para la entrada, incrementador de velocidad, generador sincronizado, regulador de velocidad e instalación.
3. Costos de instalación estimados al 15% del costo total del equipo.
4. Para unidades con paletas fijas, deducir \$27,000.
5. Base de costo a julio de 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The estimated costs are based upon a standardized tube turbine, coupled to the generator through a speed increaser.
2. Costs include a turbine with adjustable runner blades and fixed guide vanes, inlet butterfly valve, speed increaser, synchronous generator, speed regulating governor and installation.
3. Installation costs are estimated at 15% of the total equipment costs.
4. For fixed blade units, deduct \$27,000.
5. Cost base is July 1978.



**Figura 6 Costos de Turbina a Bulbo y Anillo**  
**Figure 6 Bulb and Rim Turbine Costs**

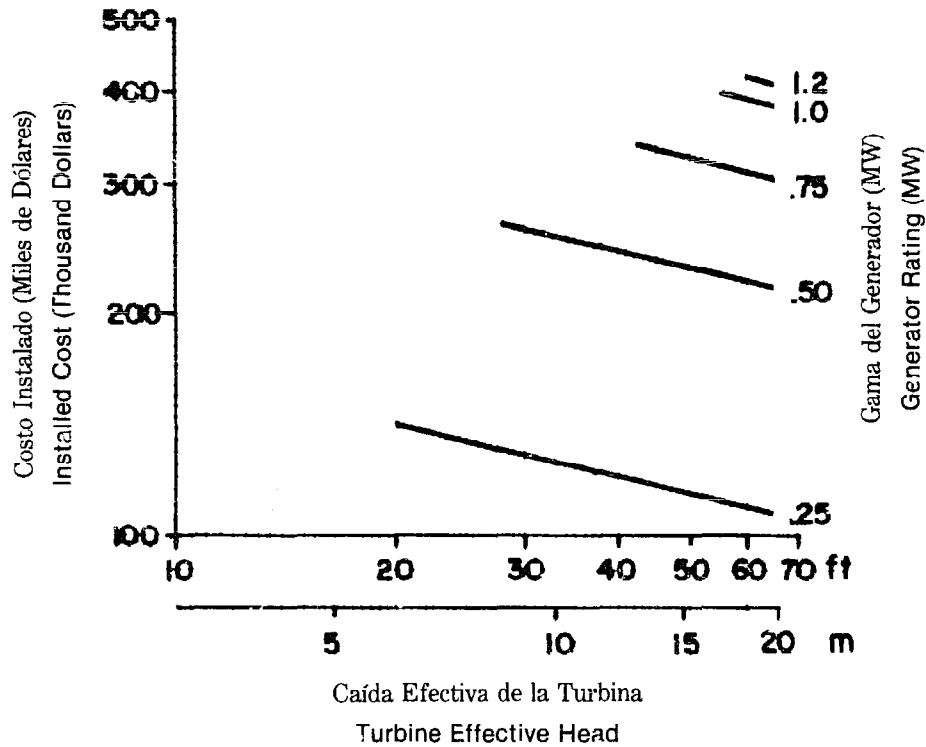
**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina horizontal a bulbo, típica, directamente acoplada al generador.
2. Los costos incluyen una turbina con paletas de rotor ajustable y compuertas ajustables, generador sincronizado, regulador de velocidad e instalación.
3. Costos de instalación estimados a \$250,000 para unidades mayores, a \$75,000 para las unidades pequeñas.
4. Para unidades con paletas fijas, deducir 10% del costo total.
5. El costo de una turbina a reborde es aproximadamente el mismo que la turbina a bulbo.
6. Base de costo a julio 1972, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The estimated costs are based upon a typical horizontal bulb turbine direct coupled to the generator.

2. Costs include a turbine with adjustable runner blades and adjustable wicket gates, synchronous generator, speed regulating governor and installation.
3. Installation costs are estimated at \$250,000 for the large units, to \$75,000 for the small units.
4. For fixed blade units, deduct 10% of total cost.
5. The cost of a rim turbine is approximately the same as a bulb turbine.
6. Cost base is July 1978.



**Figura 7 Costos de Turbina de Flujo Transversal**  
**Figure 7 Crossflow Turbine Costs**

**Notas:**

1. Costos estimativos basados en una turbina típica de flujo transversal acoplada al generador por medio de un incrementador de velocidad.
2. Los costos incluyen una turbina, generador sincronizado, incrementador de velocidad, válvula de ingreso, regulador sin regulador de velocidad e instalación.
3. Agregar \$60,000 para cubrir el regulador de velocidad.
4. Base de costo a julio 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The estimated costs are based upon a typical crossflow turbine coupled to the generator through a speed increaser.
2. Costs include a turbine, synchronous generator, speed increaser, inlet valve, non speed regulating governor and installation.
3. For speed regulating governor, add \$60,000.
4. Cost base is July 1978.

## Generadores Eléctricos

### Clasificación de Generadores

La selección y ubicación del generador depende de factores tales como el tipo de turbina y la orientación de la turbina. Por ejemplo, el generador para una turbina de tipo bulbo está colocado dentro del mismo bulbo. Por lo general una turbina de tubo requiere un generador horizontal, y un generador con eje vertical a engranaje de empuje es adecuado para la mayoría de las instalaciones de las turbinas Francis. Dos tipos de generadores, sincronizado y a inducción, serán presentados en los párrafos siguientes.

La selección del generador, sincronizado o a inducción, es una función de la aplicación. Un generador a inducción tiene un factor de energía fijo, lo cual sería una desventaja si se estuviera operando una pequeña central de energía, ya que los otros generadores en la central tendrían que suministrar el componente reactivo para la operación del generador de inducción. Los generadores sincronizados pueden variar el factor de energía y contribuir a la energía reactiva de las centrales. Se pueden utilizar el ajuste adecuado de los componentes de los generadores sincronizados para reducir las pérdidas de las centrales. La selección se ha de basar en un análisis de la red de abastecimiento de energía a la cual el generador contribuirá la energía, caso por caso.

**Sincronizado.** Un generador sincronizado obtiene su nombre por estar sincronizado con el voltaje y la frecuencia de la central antes de cerrar el interruptor que conecta el generador a la central y cuando está conectado continúa operando a velocidad sincronizada.

Se estimula el generador mediante la aplicación de una fuente de corriente directa (dc) a través del embobinado del campo del rotor y la creación de un campo magnético dentro del estator que induce un voltaje potencial en la bobina del estator. Los diseños de hoy día emplean un artefacto de estimulación estática que convierte una fuente de corriente alterna (ac) a dc por intermedio de un circuito de estado sólido (solid state). El sistema estático ha reemplazado los generadores de estímulo de corriente directa movidos por ejes y relativamente cuesta menos, tiene un tiempo más corto de reacción y acomoda la descarga del campo de energía sin un resistor del campo de descarga cuando se necesite desconectarlo de súbito. No obstante, para los generadores de 5,000 o menos, a veces todavía se usan estimuladores a eje sin carbones en vez del sistema estático de estimular. El estimulador sin car-

## Electric Generators

### Classification of Generators

The selection and location of the generator is influenced by factors such as turbine type and turbine orientation. For example, the generator for a bulb-type turbine is located within the bulb itself. A horizontal generator is usually required for a tube turbine and a vertical shaft generator with a thrust bearing is appropriate for most Francis turbine installations. Two types of generators, synchronous and induction, will be discussed in the following paragraphs.

The choice of generator, synchronous or induction, is a function of application. An induction generator has a fixed power factor which, if operating in a small power system, can be a disadvantage because other generators in the system will be required to provide the reactive component for the operation of the induction generator. Synchronous generators can vary the power factor and contribute reactive power to the system. The proper adjustment of reactive components of synchronous generators can be utilized to reduce losses in the system. Selection should be based on a case-by-case analysis of the power grid to which the generator will contribute power.

**Synchronous.** A synchronous generator is so named because it is synchronized to the system voltage and frequency before the breaker device, which connects the generator to the system, is closed and, when connected, continues to operate at synchronous speed.

The excitation of the generator is achieved by impressing a direct current (dc) source across the rotor field coils and creating a magnetic field within the stator which induces a voltage potential in the stator coils. Present day designs employ a static excitation device which converts an alternating current (ac) source to a dc source via solid state circuitry. The static system has replaced the shaft-driven dc excitation generator and comparatively costs less, has a quicker response time and accomodates discharge of the field energy without a field discharge resistor upon a sudden disconnect of the unit from the system. However, for generators of 5,000 kW or less, a brushless shaft driven exciter may still be used in lieu of a static excitation system. The brushless exciter is a rotating ac generator with rectifiers on the main shaft to produce dc current for the field.



bones es un generador rotatorio de corriente alterna con rectificadores sobre el eje principal para producir corriente directa.

El regulador del voltaje funciona como un artefacto de control automático. Es sensible al voltaje de la máquina y lo compara con un punto definido. A medida que la carga del generador cambia, el regulador del voltaje ajusta el estímulo de la máquina para mantener constante el voltaje del generador.

El estimulante-regulador generalmente consiste en una unidad modular, que afecta primordialmente la energía de salida reactiva del generador, el factor de energía y los niveles del voltaje. Dicho equipo es utilizado en conjunción con el equipo sincronizado, en las secuencias del principio de la colocación de la línea del generador. Una vez que el estimulante-regulador pone el voltaje de la máquina a la par con el voltaje de la central y el equipo sincroniza la frecuencia y la fase de la central, se puede conectar el generador a la red de abastecimiento de energía. Frecuentemente, se arranca las máquinas pequeñas y se las observa hasta que lleguen aproximadamente a la velocidad sincronizada sin el estímulo, a este punto se cierra el interruptor y se aplica el estímulo para sincronizar el generador con las fase y la velocidad. Este procedimiento elimina el costo del equipo de sincronización automática.

**Inducción.** La diferencia esencial entre el generador a inducción y el sincronizado es que el generador a inducción obtiene su estímulo de la red de abastecimiento de energía. El método general de alistar la planta para operar es arrancando el generador como un motor con el impulsor girando en "seco" y luego abrir las compuertas de la turbina para cargar la unidad. Entonces el generador empieza a operar como generador.

Hoy día el costo de los generadores de inducción es un poco más reducido que el de los generadores sincronizados de igual capacidad de salida. No obstante, los generadores a inducción disponibles en el mercado se limitan a una capacidad no mayor que 2,000 kW.

## Procedimiento para la Selección de Generadores

**Generalidades.** Es posible adoptar la configuración horizontal o vertical del generador. La orientación se convierte en una función de la selección de la turbina y de la estructura de la planta de energía y el costo del equipo conforme a un diseño específico. Por ejemplo, una unidad vertical Francis ha de requerir excavación más profunda y una estructura más

The voltage regulator functions as an automatic control device. It senses machine voltage and compares it to a set point. As the generator load changes, the voltage regulator adjusts the machine excitation to hold the generator voltage constant.

The exciter-regulator generally consists of one modular unit. It primarily affects generator reactive power output, power factor and voltage levels. The equipment is used in conjunction with the synchronizing equipment in the starting sequences of placing the generator on-line. Once the exciter-regulator brings the machine voltage up to system voltage and the synchronizing equipment matches frequency and phase with the system, the generator may be connected to the power grid. Small machines are frequently started and brought up near synchronous speed without excitation, the breaker then closes and excitation is applied to pull the generator into phase and synchronous speed. This procedure eliminates the cost of the automatic synchronizing equipment.

**Induction.** The major difference between an induction and a synchronous generator is that the induction generator obtains its excitation from the power grid. The general method of getting the plant on-line is to start the generator as a motor with the turbine runner spinning "dry" and then open the wicket gates of the turbine to load the unit. The generator then begins to operate as a generator.

Present-day costs for induction generators are somewhat less than for synchronous generators of the same rated output. However, commercially available induction generators are generally limited to capacities of less than 2,000 kW

## Procedure for Selection of Generator

**General.** Vertical or horizontal generator configuration is possible. The orientation becomes a function of the turbine selection and of the power plant structural and equipment costs for a specific layout. As an example, the Francis vertical unit will require a deeper excavation and higher power plant structure. A horizontal machine will increase the width of the power plant structure yet decrease the excavation and overall height of the unit. It becomes apparent that generator orientation and setting are governed by compatibility with turbine selection and an analysis of overall plant costs.

elevada para la planta de energía. Una máquina horizontal ha de aumentar el ancho de la estructura de la planta y al mismo tiempo disminuye la excavación y la altura total de la unidad. Se debe notar que la orientación e instalación del generador son influenciadas por la compatibilidad con la selección de la turbina y un análisis del costo total de la planta.

**Dimensiones.** Tres factores afectan el tamaño del generador, a saber la orientación, los requisitos de kVA y la velocidad. La turbina que se escoja ha de determinar estos tres factores del generador.

La Figura 8 da la lista de información relativa a los dimensiones para los generadores verticales a 4160 voltios que es el voltaje que se encuentra en el mercado. Todas las dimensiones indicadas representan equipos generadores sincronizados.

El tamaño del generador por kVA fijo varía inversamente a la velocidad de la unidad. Esto se debe a la necesidad de mayor número de polos del campo del rotor para conseguir la velocidad sincronizada a reducidas revoluciones por minuto.

**Eficiencia del Generador.** La eficiencia de un generador eléctrico se define como la proporción de energía de salida a la energía de ingreso. Hay cinco pérdidas mayores asociadas con un generador eléctrico. Diversos procedimientos de prueba (test) se utilizan para determinar la magnitud de cada pérdida. Dos clases de pérdidas son fijas y en consecuencia, independientes de la carga. Estas pérdidas son (1) fricción del aire y viento, y (2) pérdida del núcleo magnético. Las pérdidas variables son (3) pérdida del inductor de cobre, (4) pérdida de la armadura de cobre y (5) pérdida errática o pérdida de la carga.

La pérdida por fricción del aire y viento es afectada por el tamaño y la forma de las piezas rotatorias, el diseño del ventilador, diseño del cojinete y la naturaleza de la caja. Se asocia la pérdida del núcleo magnético con la energía necesaria para magnetizar las piezas de acero del centro del rotor y el estator. La pérdida del inductor de cobre representa la energía perdida a causa de la resistencia del inductor a la corriente directa. Del mismo modo se calcula la pérdida de la armadura de cobre a base de la resistencia a la corriente directa del bobinado de la armadura. La pérdida errática o pérdida de la carga se relaciona con la corriente de la armadura y el flujo asociado con ella. Los valores típicos de la eficiencia varían de 96 a 98 por ciento. Este valor de la eficiencia es representativo a través de la capacidad total de carga de una máquina específica, por ejemplo, la eficiencia es aproximadamente la misma a 1/4 de la capacidad o a 3/4 de la capacidad.

**Dimensions.** Three factors affect the size of generator. These are orientation, kVA requirements and speed. The turbine choice will dictate all three of these factors for the generator.

Figure 8 lists dimensional information on vertical generators rated at 4160 volts which is the rated voltage commercially available. All dimensions shown represent synchronous generating equipment.

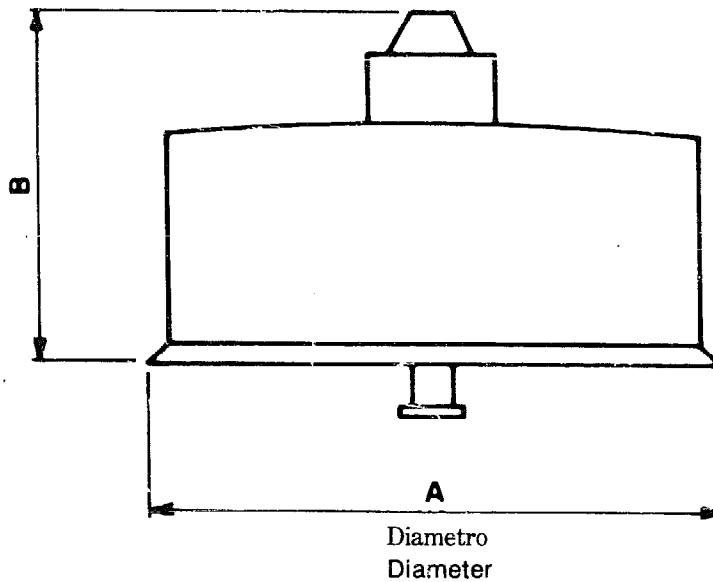
The size of the generator for a fixed kVA varies inversely with unit speed. This is due to the requirements for more rotor field poles to achieve synchronous speed at lower rpm.

**Generator Efficiencies.** The efficiency of an electrical generator is defined as the ratio of output power to input power. There are five major losses associated with an electrical generator. Various test procedures are used to determine the magnitude of each loss. Two classes of losses are fixed and therefore independent of load. These losses are (1) windage and friction and (2) core loss. The variable losses are (3) field copper loss, (4) armature copper loss and (5) stray loss or load loss.

Windage and friction loss is affected by the size and shape of rotating parts, fan design, bearing design and the nature of the enclosure. Core loss is associated with power needed to magnetize the steel core parts of the rotor and stator. Field copper loss represents the power losses through the dc resistance of the field. Similarly, the armature copper loss is calculated from the dc resistance of the armature winding. Stray loss or load loss is related to armature current and its associated flux. Typical values for efficiency range from 96 to 98 percent. This efficiency value is representative throughout the whole loading range of a particular machine; i.e., the efficiency is approximately the same at 1/4 load or at 3/4 load.

Generator costs are included with turbine costs. Generator costs vary with kVA capacity, speed and configuration. Cost will increase with an increase of kVA or a decrease in speed. Vertical generators are more costly than horizontal generators due to the addition of a thrust bearing for vertical units.

A refinement in costs would compare indoor versus outdoor installations. The indoor generator has a lower generator housing cost; however, this reduction is outweighed by the additional building structure costs.



RATING ( MW )	A ( in )	B ( in )
0.5	80	40
1	85	50
2	95	75
5	125	120
10	145	145
15	180	180

**Figura 8 Dimensiones para Generadores, Configuración Vertical**  
**Figure 8 Dimensions for Generators, Vertical Configuration**

**Notas:**

1. Todos los valores representan medidas medianas para condiciones variables de caída (0-300 pies)
2. Información basada en generadores trifásicos de 60 ciclos, 0.9 factor de energía y 4160 voltios.
3. Para unidades de mas de 5MW se debe agregar varios pies extra al diámetro si se utilizan enfriadores del aire en la superficie.

**Notes:**

1. All values represent median sizes for varying head conditions (0.300 ft.).
2. Data based on 3-phase generators, 60 cycles, 0.9 power factor and 4160 volts.
3. For units above 5MW, several extra feet should be added to the diameter if surface air coolers are used.

El costo del generador se incluye en los costos de la turbina. Los costos del generador varían con la capacidad en kVA, velocidad y configuración. El costo ha de aumentar con el aumento de kVA o la disminución de la velocidad. Los generadores verticales cuestan más que los generadores horizontales debido a la adición de un cojinete de empuje para las unidades verticales.

Un refinamiento en los costos ha de comparar instalaciones de bajo techo (interiores) con instalaciones al aire libre. Los generadores interiores tienen un costo más bajo para la caja no obstante, esta reducción es contrarrestada por los costos adicionales de la construcción de la estructura.

## **Control de la Generación, Protección del Equipo y Transformadores**

### **Control de la Planta Hidroeléctrica**

Las mini y pequeñas instalaciones hidroeléctricas no crean gran impacto en la central y en consecuencia requieren equipos de control menos complejos y menos costosos. El regulador es el controlador primario en una planta hidroeléctrica mini o pequeña. El regulador puede ser de operación manual, por control de un flotador al nivel del agua, o por el flujo del agua en un conducto. Cada uno de estos métodos suministra control para el arranque y la carga de la unidad.

Se controla el generador mediante el equipo estimulante y de regulación del voltaje. En coordinación con el equipo de sincronización, estas centrales permiten el arranque de la unidad y el control de generación de la energía y voltaje cuando la unidad esté en operación.

La ubicación central para el control de la planta es el tablero de control principal. De allí se distribuyen todos los equipos de operación y monitores de la planta. Conjuntamente con los controles del circuito de la planta y sistema de acopio de energía, normalmente por baterías, los controles que se mencionan más arriba son los sistemas predominantes de control para la operación de pequeñas centrales hidroeléctricas.

**Tablero Principal de Control.** La función del tablero principal de control es operar como control y monitor de todas las funciones de la planta. En las centrales mini y pequeñas que por lo general no son atendidas, una función primaria del tablero de control es la de dar una indicación del estado de funcionamiento de la planta después de haber sonado una "alarma" para poder despachar un operador que pueda determinar la naturaleza de la alarma. Me-

## **Generation Control, Protection Equipment and Transformers**

### **Hydroelectric Plant Control**

Small and mini-hydroelectric installations do not create such an impact on the system and thereby require less costly and complex control equipment. The governor is the primary controller of a small and mini-hydroelectric plant. The governor may be actuated by manual operation, by float level control in the waterway or by the flow of water in a conduit. Each method provides control for starting and loading the unit.

The generator is controlled through the excitation and voltage regulation equipment. In coordination with the synchronizing equipment, these systems allow for unit start-up, and voltage and power generation control when the unit is on the line.

The central location for plant control is the main control board. From it emanates the complete operation and monitoring of all plant equipment. Together with the plant switchgear and storage energy system, normally batteries, the above are the predominant control systems for small hydroelectric plant operation.

**Main Control Board.** The function of the main control board is to control and monitor all plant functions. In small and mini-hydroelectric plants, often unattended, a primary function of the control board is to give indication of plant function status after a remote alarm has occurred so that an operator may be dispatched to determine the nature of the alarm. From this display, the operator can determine the nature of the malfunction and can then follow established operating instructions for handling the plant malfunctions and often restart the unit.

The control board consists of indicating meters, control switches, lights, annunciators, mimic arrangements, interposing relays, protective relays and recording instruments. The indicating meters provide information on voltage levels, current levels, watts, vars, temperature and unit speed. Indicating lights show status, such as "pump on — pump off" or "valve open — valve closed". The annunciators display specific alarm of malfunction conditions throughout the plant. Generally, the annunciator points are grouped by function. One layout often used has the annunciators partitioned into generator, turbine and transmission line func-

dian­te la lec­tu­ra de los con­tro­les el ope­ra­dor pue­de de­ter­mi­nar la na­tu­ra­le­za de la falla y de allí po­drá se­guir in­struc­cio­nes es­pe­cí­fi­cas de ope­ra­ción pa­ra ca­sos de falla de la plan­ta, y con fre­cuen­cia, pa­ra vol­ver a arran­car la uni­dad.

El ta­ble­ro de con­tro­l con­sis­te de me­di­do­res in­di­ca­do­res, lla­ves de con­tro­l, lu­ces, anun­cia­do­res, ar­re­glos mí­mi­cos, re­lays in­ter­pues­tos, re­lays de pro­tec­ción e in­stru­men­tos in­di­ca­do­res. Los me­di­do­res in­di­ca­do­res su­mi­nis­tran in­for­ma­ción so­bre el ni­vel de vol­ta­je, ni­vel de la cor­rien­te, watts, voltam­pe­rios re­ac­ti­vos, tem­pe­ra­tu­ra y ve­lo­ci­dad de la uni­dad. Las lu­ces in­di­can es­ta­dos, ta­les co­mo “bom­ba - con­ec­ta­da” “on” o des­con­ec­ta­da “off”, o “vál­vu­la - abi­er­ta o cer­ra­da.” Los anun­cia­do­res no­ti­fi­can con­di­cio­nes es­pe­cí­fi­cas de alar­ma o falla en to­da la plan­ta.

Ge­ne­ral­men­te los pun­tos anun­cia­do­res se agru­pan de acuer­do a la fun­ción. A me­nu­do se usa un de­se­ño que tie­ne los anun­cia­do­res agru­pa­dos en: ge­ne­ra­dor, tur­bi­na y lí­nea de trans­misión. El anun­cia­dor pue­de ir acom­pañado por una alar­ma lo­cal y fa­ci­li­da­des pa­ra in­ci­ar la alar­ma re­mo­ta. Los re­lay de pro­tec­ción es­tán mon­ta­dos en un área se­pa­ra­da del ta­ble­ro de con­tro­l y son vi­si­bles des­de el fren­te pa­ra po­der in­spe­c­cio­nar el ob­je­ti­vo del re­le­va­dor. Los re­le­va­do­res in­ter­pues­tos se co­lo­can a me­nu­do de­trás del ta­ble­ro de con­tro­l pa­ra dar fa­ci­li­dad pa­ra in­ter­conec­ción den­tro del ta­ble­ro. Los me­di­do­res que in­di­can watts, vars y voltios adem­ás de los me­di­do­res del flu­jo y ni­vel del agua es­tán co­lo­ca­dos en la ve­cin­dad de los re­le­va­do­res de pro­tec­ción.

## Control del Generador

**Regulación y Sincronización del Voltaje.** El equipo de sincronización permite que el interruptor del generador o el interruptor de la línea se cierre cuando el generador del voltaje esté en sincronización con la fase y la frecuencia del sistema. Esta función se puede ejecutar manualmente con el uso de un sincroscopio o automáticamente empleando relevadores automáticos de sincronización y ajuste de la velocidad. Para las unidades pequeñas se puede eliminar el equipo de sincronización automática.

El regulador de voltaje trabaja en conjunto con el equipo de estímulo estático. Después de estimular el campo para obtener el voltaje del sistema, y cuando el generador esté sincronizado al sistema, el regulador del voltaje asegura el mantenimiento del voltaje a un punto fijo. Se suministra un dispositivo para ajustar el voltaje a fin de establecer el deseado voltaje del generador.

**Interruptores del Generador e Interruptores de la Línea.** Los interruptores del generador e interrup-

tions. The annunciator may be accompanied by a local alarm and facilities for initiating remote alarm. Protective relays are mounted in a separate area of the control board and are visible from the front for inspection of relay targets. Interposing relays are often mounted behind the control board for ease of interwiring within the board. Recording wattmeters, varmeters and voltmeters, in addition to flow and water level recording meters, are mounted in the vicinity of the protective relays.

## Generator Control

**Synchronization and Voltage Regulation.** The synchronizing equipment allows the generator breaker or line breaker to be closed when the generator voltage is in phase and frequency with the system voltage. This function may be performed manually with use of a synchroscope or automatically employing speed-matching and automatic synchronizing relays. For small units, automatic synchronizing equipment may be eliminated.

The voltage regulator works jointly with the static excitation equipment. After the field has been excited to achieve system voltage and the generator is synchronized to the system, the voltage regulator assures that the set point voltage is automatically maintained. A voltage adjustment device is provided to set the desired generator voltage.

## Generator Breakers and Line Breakers.

Generator breakers and line circuit breakers are the link that connects the generator to the power grid. The generator breaker closing occurs when the unit is in synchronism with the power grid. These breakers also act as an interrupting or tripping mechanism to disconnect the unit from the system when an abnormal condition or a normal shutdown takes place.

Breakers are classified by type, voltage class, continuous rated current and interrupting capacity. Types of breakers include magnetic, air blast, gas, oil and vacuum and are indicative of the medium in which the electrical arc is extinguished.

Generator breakers for small and mini hydroelectric installations are commonly air blast or vacuum-type, metal-clad units rated at 4.160 kV. The interrupting capacity is dependent on fault calculations which determine system and generator contribution to a fault. Metal-clad units can be supplied with associated metering and instrument transformers.

tores del circuito de la línea son los eslabones que conectan el generador con la red de abastecimiento de energía. El cierre del interruptor del generador ocurre cuando la unidad está en sincronismo con la red de abastecimiento de energía. Estos interruptores son también activados como mecanismos de interrupción para desconectar la unidad del sistema cuando se presente una condición anormal o un paro normal.

Los interruptores se clasifican por tipo, clase de voltaje, corriente nominal continua y capacidad de interrupción. Los tipos de interruptores incluyen el magnético, sople de aire, a gas, aceite y al vacío y son indicativos del medio en el cual se extingue el arco eléctrico.

Los interruptores del generador para instalaciones hidroeléctricas mini y pequeñas son comúnmente a sople de aire o tipo al vacío, unidades encerradas en caja de metal a 4.160 kV. La capacidad de interrupción depende de los cálculos de "falla" que determinen la contribución del sistema y del generador para constituir una "falla." Las unidades en cajas de metal pueden ir equipadas con medidores asociados y transformadores de instrumentos.

Hay gabinetes de control y consolas para todos los interruptores mencionados para los circuitos requeridos para cerrar y soltar el interruptor. Los bujes vienen con provisiones para transformadores de instrumentos. Opcionales incluyen equipo de relevo y llaves de entrecierre.

**Regulador y Equipo de Control de la Carga.** Las instalaciones hidroeléctricas mini y pequeñas generalmente tienen poco efecto sobre la frecuencia de la red de abastecimiento de energía y se las puede instalar sin reguladores de velocidad, lo cual resulta en ahorro en el costo.

Para las instalaciones hidroeléctricas mini o pequeñas, los reguladores que no regulan la velocidad pueden ser de acción hidráulica u operadas a electricidad y su función es la de traer la turbina a una velocidad aproximada a la sincronizada para el arranque, para regular la carga después de haber obtenido la velocidad sincronizada y parar el funcionamiento de la unidad tanto durante condiciones normales como en caso de emergencia. Las unidades deben estar equipadas con llaves mecánicas para la velocidad y una fuente de energía independiente que pueda parar la turbina en caso de repulsión de la carga o pérdida de energía de la estación. Cuando se utilicen sistemas hidráulicos, se utilizarán acumuladores de aire-aceite como fuente de energía independiente. Cuando se utilicen operadores eléctricos, se usarán baterías a corriente directa.

For all aforementioned breakers, control cabinets and consoles are available for the circuitry required to close and trip the breaker. Bushings come with provisions for instrument transformers. Options include relaying equipment and key interlocks.

**Governor and Load Control Equipment.** Small and mini-hydroelectric installations generally have little effect on the frequency of the power grid and may be installed without speed regulation governors, which results in a cost savings.

For small and mini-hydroelectric installations, non-speed-regulating governors may be either hydraulic or electric-operated and their function is to bring the turbine to near synchronous speed for start-up, to regulate load after synchronous speed has been achieved and to shut down the unit during both normal and emergency conditions. The units must be equipped with mechanical speed switches and an independent energy source which will shut down the turbine in the event of load rejection or loss of station power. When hydraulic systems are used, an air-oil accumulator is used as an independent energy source. When electric operators are used, a dc battery system is used.

In cases where load regulation is not required, the turbine is equipped with an inlet valve which must be able to shut the unit down under emergency conditions. The power to close the valve can be provided by a hydraulic accumulator system, a battery system or a weight trip lever device.

## **Station Equipment and Protection Systems**

**Relaying Equipment and Surge Protection.** An important part of hydroelectric plant operations deals with safety and protection. In particular, short circuits and ground faults within the plant must be monitored and corrective action must be initiated to prevent injury to personnel or damage to equipment.

Two types of protective devices are the protection relays and the surge protection arresters. The relays examine time-current relationships and operate when the voltage and current characteristics lie outside of the pre-calibrated settings. Surge protection is required to restrict any line surges from the system or any surges in voltage that have not been properly contained by the station lightning arresters. The surge arresters are physically located as close to the generator terminals as possible. The surge equip-

En los casos en que no se requiera la regulación de la carga, la turbina viene equipada con una válvula de ingreso que debe tener la capacidad de parar la unidad en condiciones de emergencia. La energía para cerrar la válvula puede ser provista por un sistema de acumulador hidráulico, un sistema de baterías o un dispositivo a palanca operada a lastre.

## Equipo de la Estación y Sistemas de Protección

### Equipo de Relevos y Protección contra Pulsación.

Una parte importante de las operaciones de una planta hidroeléctrica tiene que ver con la protección y la seguridad. En particular, se debe inspeccionar los corto-circuitos y las fallas de la conexión de tierra dentro de la planta y se debe iniciar acción correctiva para prevenir daños al personal o al equipo.

Dos tipos de artefactos protectores son los relevos de protección y los arrestos de protección contra pulsación. Los relevos examinan las relaciones de tiempo-corriente y operan cuando las características del voltaje y la corriente caen fuera de los límites pre-calibrados de la instalación. Se necesita protección contra pulsación para restringir la pulsación del sistema o incrementos en el voltaje que no hayan sido adecuadamente contenidos por los pararrayos de la estación. Los artefactos para detener la pulsación se colocan físicamente tan cerca como sea posible a las terminales del generador. El equipo de protección contra la pulsación evita daños a los aisladores y sobrecarga en el bobinado del generador.

**Protección contra Incendio.** Un sistema de protección contra incendio a CO<sub>2</sub> se emplea en el ensamble de la caja del generador y en el área general de la planta. El propósito del sistema de generador a CO<sub>2</sub> es el de extinguir fuegos que se produzcan dentro de la caja del generador. Un banco de cilindros tanto para carga inicial como retardada es activado por llaves termales a CO<sub>2</sub>. Se colocan extinguidores portátiles en los alrededores de la planta para contener riesgos locales de incendio. Se puede utilizar vapor o agua en lugar de CO<sub>2</sub>, pero ambos requieren que el generador sea desconectado de la barra colectora y del sistema de estímulo antes de que active el sistema de protección contra incendio. Una ventaja adicional del CO<sub>2</sub> es que no daña la aislación.

Las instalaciones hidroeléctricas pequeñas no necesitan necesariamente sistemas automáticos contra el incendio. Pueden ser adecuados los extinguidores manuales locales a CO<sub>2</sub>. El costo de los equipos de protección contra incendio se incluye en la Figura 14, Costos de Equipos Misceláneos para Plantas de Energía.

ment prevents insulation damage and flashover on the generator windings.

**Fire Protection.** A CO<sub>2</sub> fire protection system is employed in the generator housing assembly and general plant area. The purpose of the generator CO<sub>2</sub> system is to extinguish fires that occur within the generator housing. A bank of cylinders for both initial and delayed discharge is actuated by CO<sub>2</sub> thermal switches. Portable extinguishers are positioned about the plant to contain local fire hazards. Steam or water may be used in place of CO<sub>2</sub>, but both require that the generator be disconnected from the bus and the excitation system before the fire protection system is activated. A further advantage of CO<sub>2</sub> is the fact that it is harmless to the insulation.

Small hydroelectric installations may not warrant automatic fire systems. Local hand-operated CO<sub>2</sub> extinguishers may be suitable. Costs for fire protection equipment are included in Figure 14, Miscellaneous Power Plant Equipment Costs.

Station electric equipment includes station switchgear, battery system, station service transformer and equipment, lighting, protection system, control board, cable and conduit. These systems represent a fixed expenditure of plant cost regardless of turbine and generator selection. Figure 9 illustrates the cost vs. plant capacity for the range of small and mini-hydroelectric plants.

## Transformers

**General.** The power transformer is a highly efficient device to step the voltage from generation level to transmission level. Efficiencies are generally in the range of 99 percent. For small and mini-hydroelectric installations, a single, two winding, oil-filled substation-type transformer is required. The main tank is pressurized with nitrogen to monitor rupture of the vessel and with loss of pressure to cause an alarm to sound. The bus entry to and from the transformer is accomplished by porcelain bushings, which may be supplied with current and potential transformers for metering, relaying and instrumentation. Small hydroelectric installations are normally limited to open air transformers with forced air cooling only for extremely warm days or short term overload conditions.

The main variable for transformer cost is the capacity of the unit for power transfer (kVA). Voltage levels are the next variable in cost as higher voltage requires more insulation material.

Los equipos de la estación eléctrica incluyen interruptor de la estación, sistema de batería, transformador y equipo de servicio para la estación, iluminación, sistema de protección, tablero de control, cable y conductor. Estos sistemas representan un costo fijo de la planta, independiente de la selección de turbina y generador. La Figura 9 ilustra el costo vs. la capacidad de la planta para la variedad de mini y pequeñas plantas hidroeléctricas.

Each transformer is provided with a control cabinet and sudden pressure relay. Normal voltage for small and mini hydroelectric plants is 4160 volts or less, depending on the system. Transformer costs are included with switchyard costs.

### Switchyard and Other Equipment

The switching and delivering of power to some

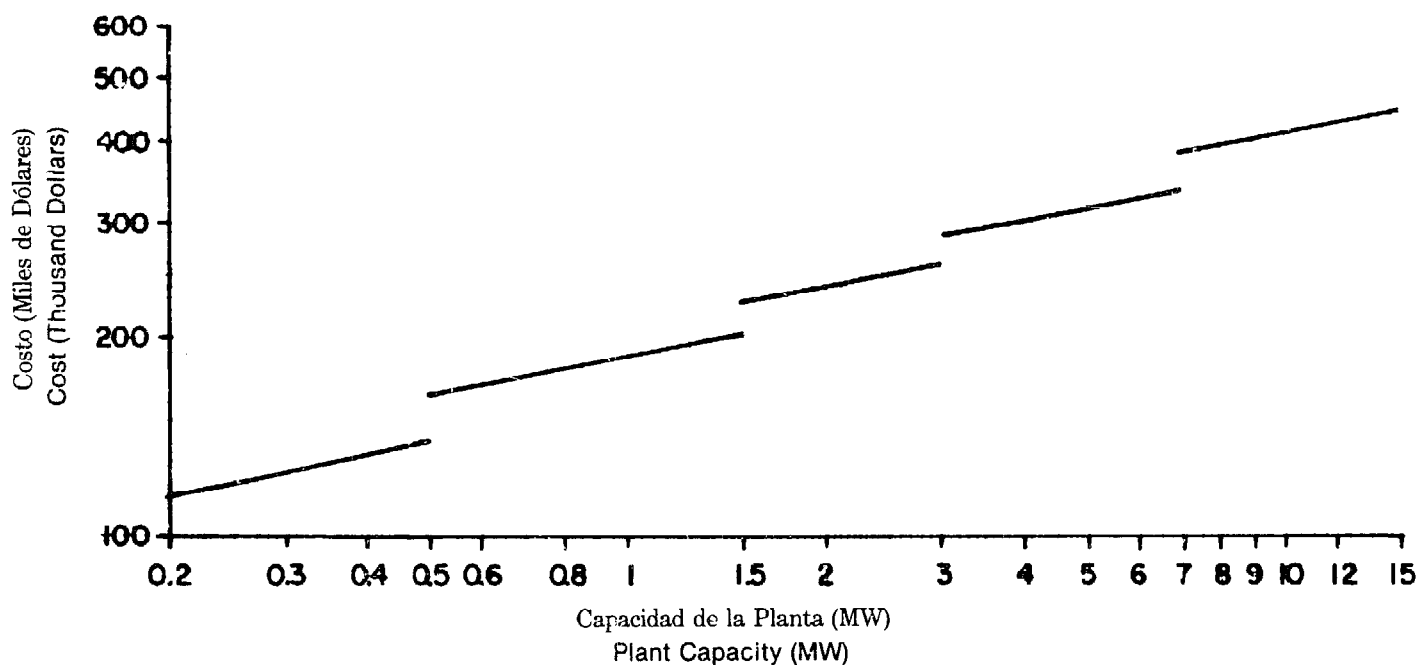


Tabla A		Table A	
MW	Costo	Cost	
0.2 - 0.5	25,000		
0.5 - 1.5	35,000		
1.5 - 3.0	45,000		
3.7 - 7.0	60,000		
7.0 - 15.0	95,000		

Figura 9 Costos de Equipos de la Estación Eléctrica  
Figure 9 Station Electrical Equipment Costs

Notas:

1. Equipo y sistemas cuyos costos se incluyen:
  - a. Mecanismo de control D-C y baterías
  - b. Transformador y mecanismo de control de la Estación de Servicio
  - c. Tablero de control principal
  - d. Sistema de cables y alambres
  - e. Sistema de conducción
  - f. Sistema de tierra eléctrica
  - g. Sistema de iluminación



2. Los costos incluyen flete e instalación
3. Costos indicados para una planta de unidad sencilla.
4. Para determinar costos para una planta con unidades múltiples:
  - a. Determinar el costo de la curva para la capacidad de la planta.
  - b. Substraer el costo de la Tabla A para la capacidad de la planta
  - c. Agregar el costo de la Tabla A para la capacidad de la unidad y multiplicar por el número de unidades
5. Costo base a julio de 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The equipment and systems for which costs are included are:
  - a. D-C switchgear and batteries.
  - b. Station service transformer and switchgear.
  - c. Main control switchboard.
  - d. Wire and cable system.
  - e. Conduit system.
  - f. Grounding system.
  - g. Lighting system.
2. Costs include freight and installation.
3. Costs are shown for a single unit plant.
4. To determine costs for a plant with multiple units:
  - a. Determine cost from curve for plant capacity.
  - b. Subtract cost from Table A for plant capacity.
  - c. Add cost from Table A for unit capacity times number of units.
5. Cost base is July 1978.

## Transformadores

**Generalidades.** El transformador de la energía es un dispositivo altamente eficiente para transformar el voltaje del nivel de generación al de transmisión. Las eficiencias caen por lo general al nivel de 99 por ciento. Para las instalaciones hidroeléctricas mini y pequeñas se requiere un solo transformador a dos bobinas del tipo de subestación a aceite. El tanque principal es a presión de nitrógeno para inspeccionar la ruptura del recipiente y con pérdida de la presión para ocasionar que suene la alarma. La entrada y salida de la barra colectora al transformador se realiza mediante bujes de porcelana que pueden ser suministrados con corriente y transformadores potenciales para medidores, relevo e instrumentación. Las instalaciones hidroeléctricas pequeñas normalmente están limitadas a transformadores al aire libre con enfriamiento de aire forzado, sólo para días extremadamente calurosos o para condiciones de sobrecarga a corto plazo.

La variante principal para el costo de los transformadores es la capacidad de la unidad para transferencia de energía (kVA). Los niveles del voltaje constituyen la siguiente variante en el costo ya que

distant point represents the final link to the power grid. Although sometimes disregarded in preliminary small hydroelectric planning, the length of transmission of the power may be an economic constraint that seriously affects project feasibility.

## Switchyard

The switchyard is comprised of line circuit breakers, disconnect switches, transformers, structures, buswork and miscellaneous power plant equipment. The arrangement of this equipment should allow for the future movement of circuit breakers and other major equipment into position without de-energizing existing buses and equipment. For single unit small hydroelectric installations, the switchyard will consist of the generator bus, step-up transformer, a disconnect switch, a line circuit breaker and a take-off tower. Station transformers, excitation transformers, and surge and metering cubicles may also be included in the switchyard to decrease floor space requirements in the powerhouse structure. Another alternate arrangement would have the

los voltajes más elevados requieren más material de aislamiento. Cada transformador va provisto con una cabina de control y relevo de presión súbita. El voltaje normal para las plantas hidroeléctricas mini y pequeñas es de 4160 voltios o menos, dependiendo del sistema. El costo de los transformadores se incluyen con los costos del patio de distribución.

### **Patio de Distribución y otros Equipos**

La maniobra y entrega de energía a algunos puntos remotos representan el eslabón final con la red de abastecimiento de energía. Aunque a veces no se toma en cuenta este aspecto en el planeamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas, la distancia de transmisión de la energía puede ser una restricción económica que puede afectar seriamente la fisibilidad del proyecto.

### **Patio de Distribución**

El patio de distribución comprende interruptores de circuito, llaves de desconexión, transformadores, estructuras, barras colectoras y equipos misceláneos de la planta de energía. La distribución de dichos equipos debe permitir el movimiento de los interruptores de circuito y otros equipos mayores en posición, sin ocasionar pérdida de energía en los cables y los equipos. Para la instalación de unidades sencillas de pequeñas unidades hidroeléctricas, el patio de distribución ha de consistir en la barra colectoras del generador, el transformador de incremento, la llave de desconexión, un interruptor del circuito y una torre de partida. Se pueden incluir también en el patio de distribución los transformadores de la estación, los transformadores del estimulante y los cubicos para los medidores a fin de disminuir el espacio de piso requerido en la estructura de construcción de la planta. Otro arreglo alternativo puede incluir los interruptores del generador encasillados en metal (en gabinetes cerrados) ubicados en el patio de distribución. Un ejemplo típico del diseño de distribución para una planta sencilla se representa en la Figura 10. Se pueden distribuir patios para unidades multiples de manera similar siempre que se mantenga la protección eléctrica y un medio de separación entre los generadores individuales mediante el uso de interruptores del generador.

La ubicación del patio de distribución con relación a la planta depende de la topografía, de las condiciones del suelo y de los requisitos de espacio. En cuanto fuere factible geográficamente, la ubicación óptima sería que el patio de distribución esté cerca de la estructura que contiene la planta. Esto elimina la costosa extensión de la barra de colección y reduce

metal-clad (enclosed in cabinets) generator breakers located in the switchyard. A typical arrangement drawing for a single unit plant is shown in Figure 10. Multiple unit switchyards may be similarly arranged as long as electrical protection and a means for isolation is maintained between individual generators by use of generator breakers.

The location of the switchyard with respect to the powerhouse is dependent on soil conditions, space requirements and topography. Where geographically feasible, the best location of the switchyard is close to the powerhouse structure. This eliminates costly extension of the generator bus and reduces power losses in the bus. Figures 11, 12 and 13 present costs of switchyards vs plant capacity.

### **Miscellaneous Power Plant Equipment**

Small and mini hydroelectric installations are generally operated and monitored from a remote location and therefore designed to house only the generation equipment. Heating, ventilating and air conditioning and waste systems for human habitat are normally not required. During infrequent maintenance periods, bottled water and portable toilet facilities may be provided.

**Ventilation.** A central blower located in the roof or end walls with temperature control to actuate when ambient temperature rises above 74 degrees F is provided. Filtered air inlets near floor at generator level are also included.

**Water System.** Duplex pump system with strainers is provided for water-cooling requirements of the turbine and generator. The water is taken from the penstock or tailrace. The cooling water system would operate independently of the plant generating equipment.

**Crane.** A permanent powerhouse crane is not recommended for small hydroelectric plants. Due to size and cost of equipment, it is considered more economical to bring in portable equipment for major plant overhauls.

**Miscellaneous.** An eye wash bath and a ventilating fan for battery area are required for safety of the workers.

**Fire Protection System.** The fire protection system is a detector-operated CO<sub>2</sub> system for extinguishing fires in generator housings and for hand-held portable extinguishers for other fire protection.

Figure 14 contains cost data for estimating the cost of miscellaneous power plant equipment.

las pérdidas en las conexiones. Las Figuras 11, 12 y 13 presentan los costos de patios de distribución vs. la capacidad de la planta.

The costs contain only the minimal equipment as described in the abovementioned figure.

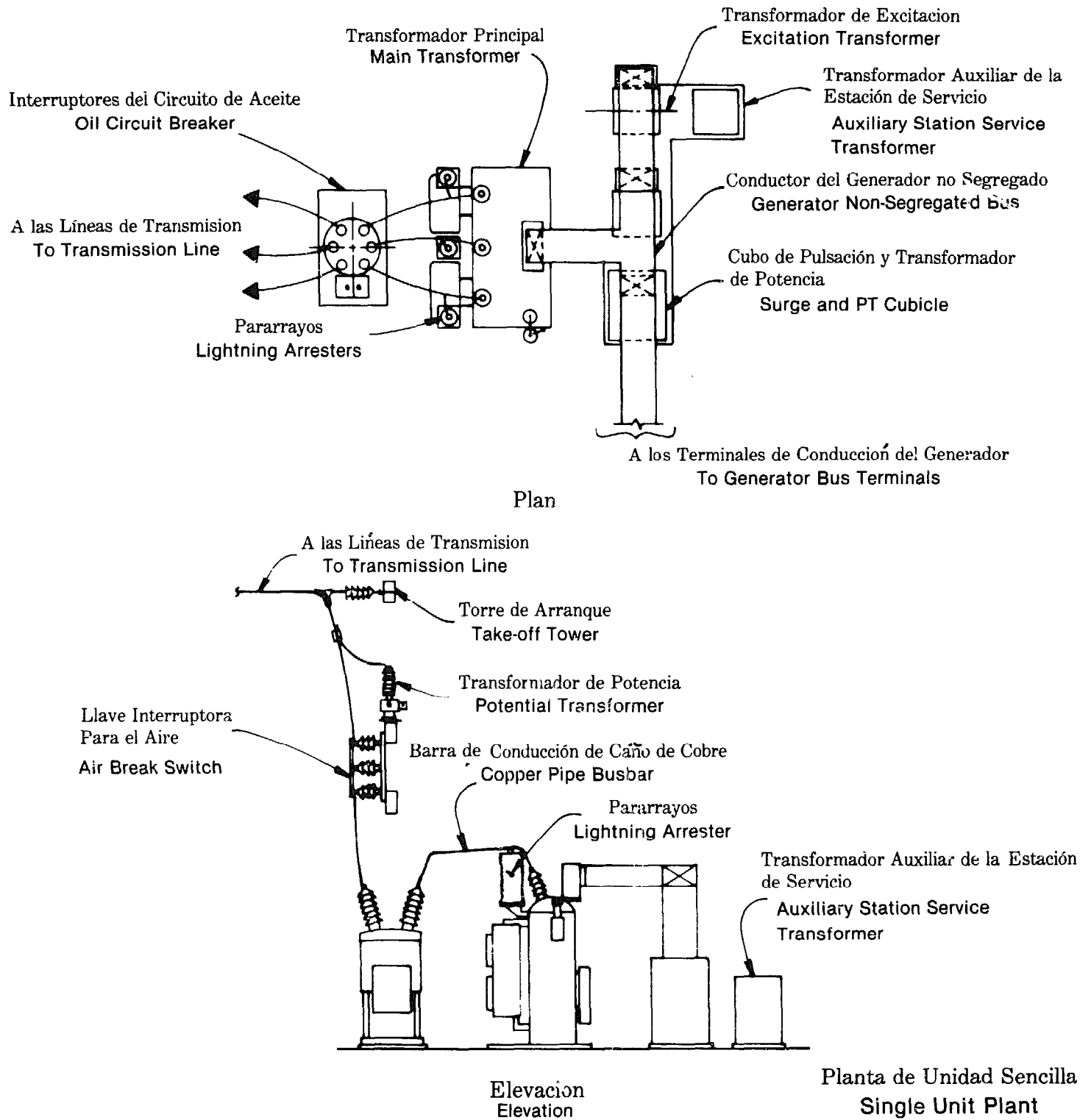
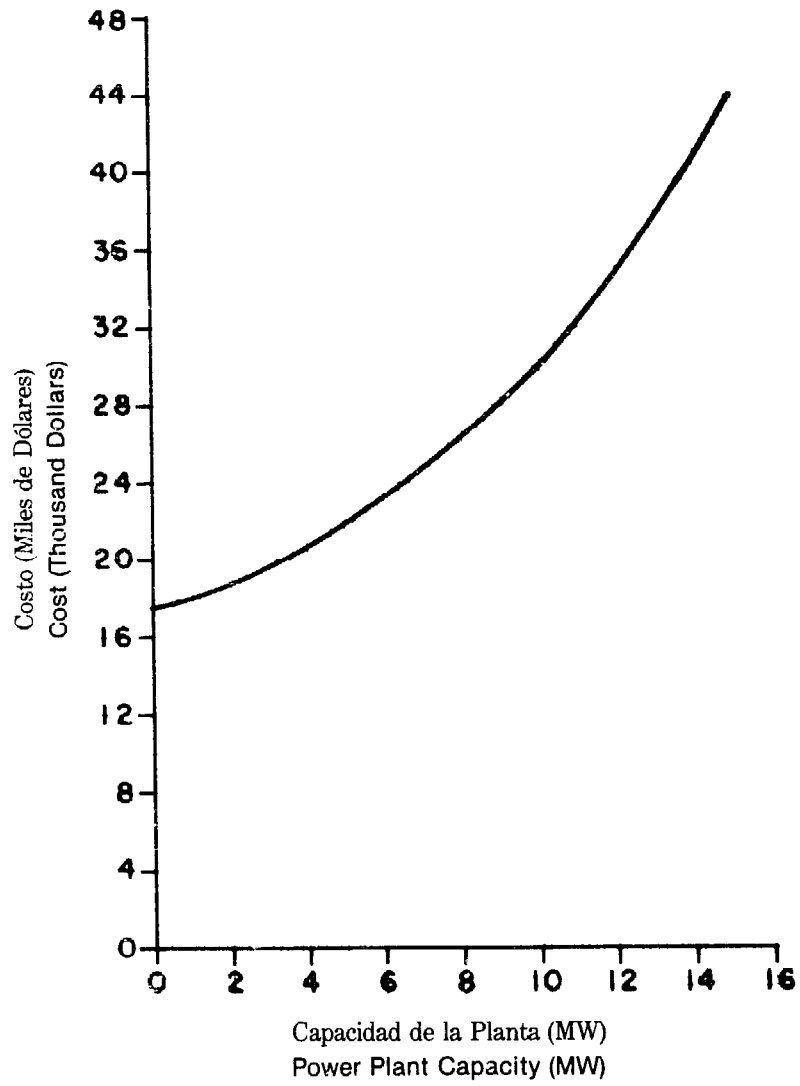


Figura 10 Arreglo tipico de un patio de distribución  
Figure 10 Typical arrangement of a switchyard



**Figura 11 Costos de las Obras Civiles del Patio de Distribución**  
**Figure 11 Switchyard Civil Costs**

Nota: Costo base a julio 1978 preparado por Tudor Engineering Co.

Note: Cost base is July 1978.

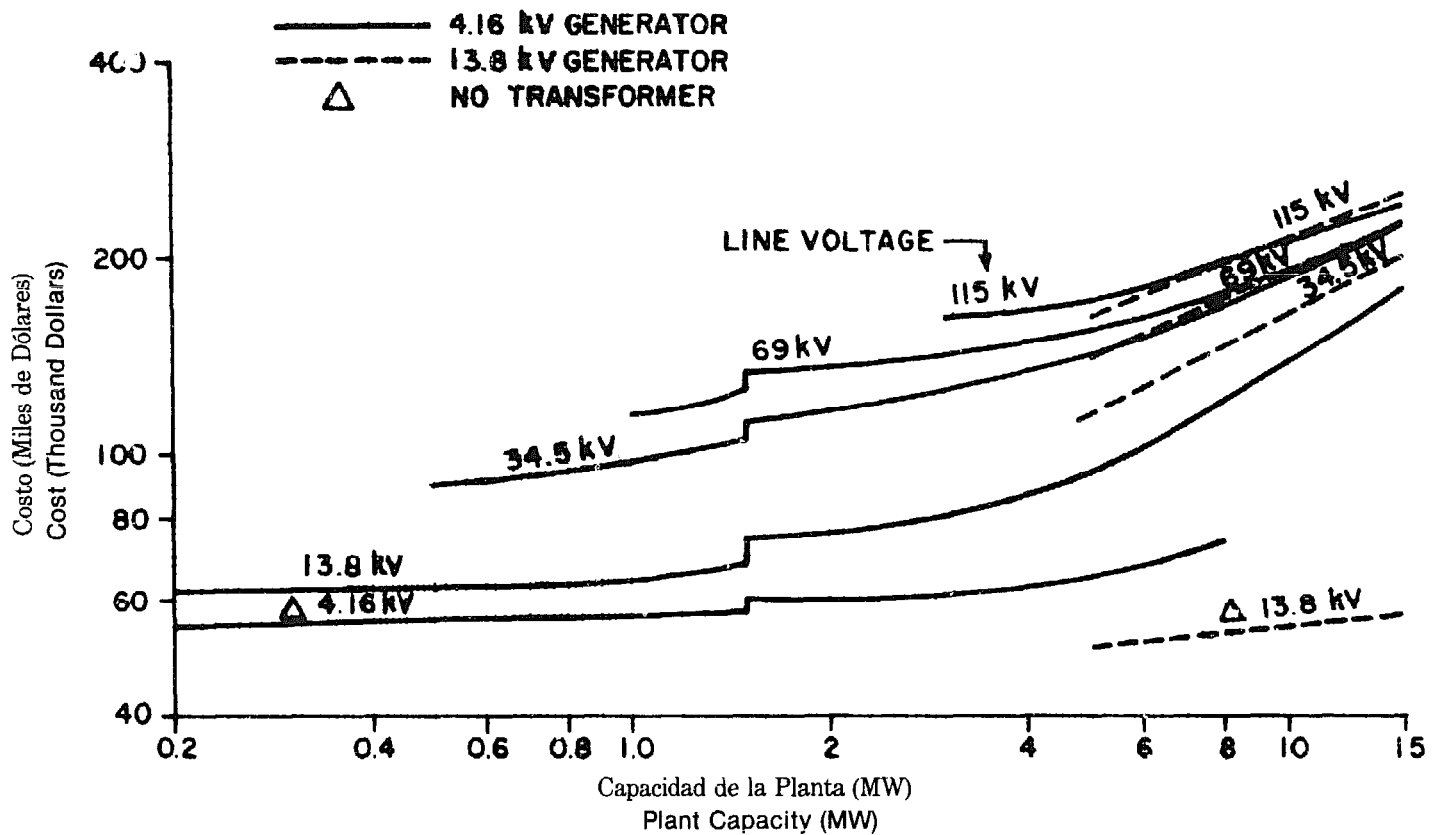


Figura 12 Costo del Equipo del Patio de Control con Interruptor de Circuito del Generador de Voltaje  
 Figure 12 Switchyard Equipment Cost with Generator Voltage Circuit Breakers

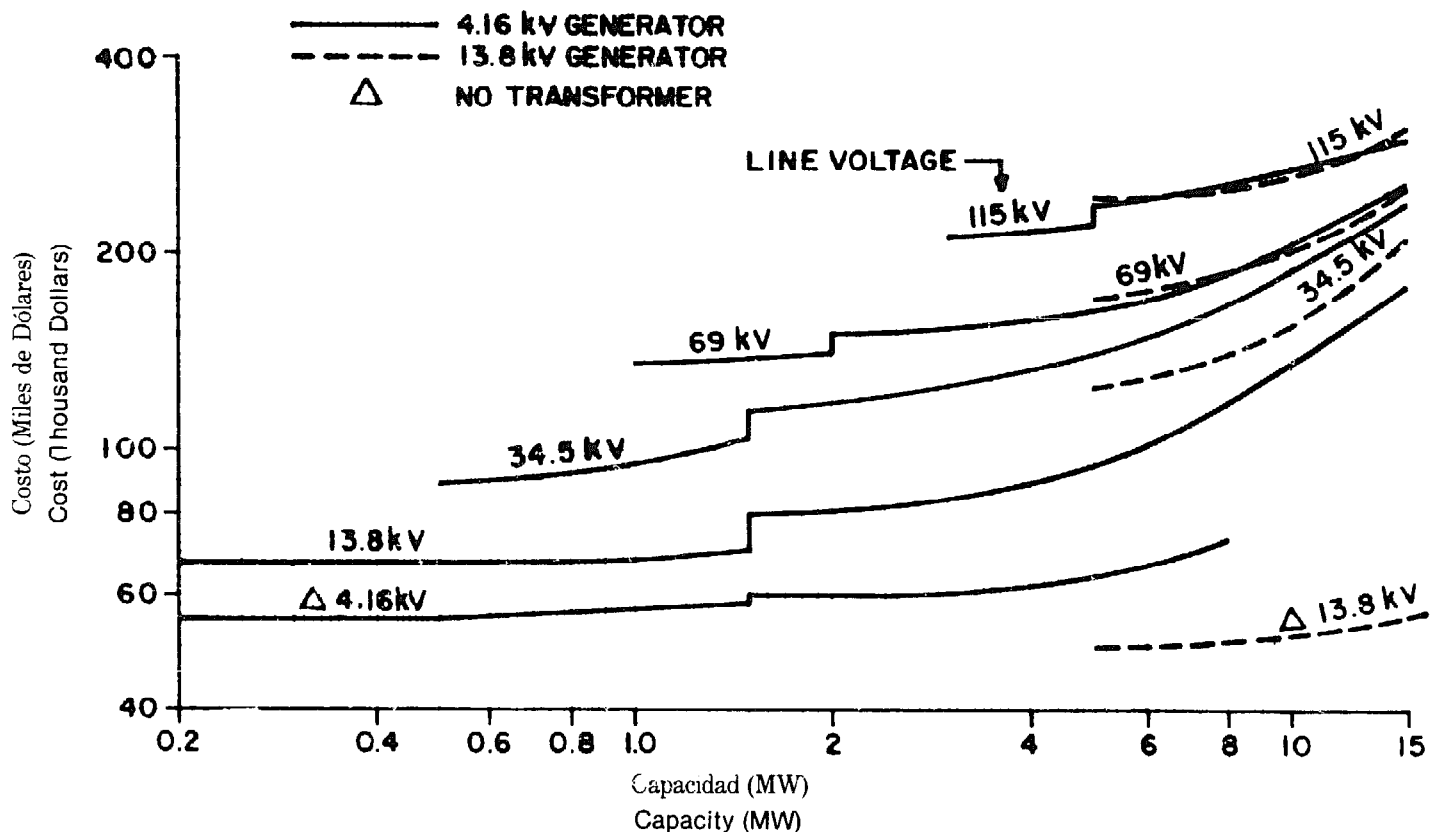
Notas:

1. Equipo y material cuyos costos se incluyen:
  - a. Interruptor de circuito del voltaje del generador con protección de metal.
  - b. Conduto y cable o conductor del interruptor al transformador (45 pies)
  - c. Transformador de incremento (excepto cuando se especifica)
  - d. Llaves y fusibles para desconectar la línea
  - e. Conductores y aisladores.
  - f. Transformadores de potencia de la línea de voltaje
  - g. Pararrayos
2. Los costos incluyen flete e instalación
3. Los costos indicados son para plantas de unidades sencillas.
4. Para determinar costos para una planta de unidad sencilla, usar la curva apropiada basada en el voltaje del generador, voltaje y capacidad de la línea.
5. Para las plantas con unidades múltiples, agregar \$47,500 multiplicado por N-1, siendo N el número de unidades.
6. Para voltajes de línea diferentes, usar el costo que se indica para el voltaje inmediatamente superior.
7. Costo base a julio 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

Notes:

1. Equipment and material for which costs are included are:
  - a. Generator voltage metal-clad circuit breaker.
  - b. Conduit and cable or bus duct from breaker to transformer (45 feet).

- c. Step-up transformer (except as noted).
- d. Line disconnect switch and fuses.
- e. Bus and insulators.
- f. Line voltage potential transformers.
- g. Lightning arresters.
2. Costs include freight and installation.
3. The costs shown are for a single unit plant.
4. To determine the costs for a single unit plant use the appropriate curve based on the generator voltage, line voltage and capacity.
5. For multiple unit plants add \$47,500 times (N-1) where N is the number of units.
6. For other line voltages, use the cost of the next higher voltage shown.
7. Cost base is July 1978.



**Figura 13 Costos de Equipos del Patio de Control con Interruptores de Circuito de la Línea de Voltaje**  
**Figure 13 Switchyard Equipment Costs with Line Voltage Circuit Breakers**

**Notas:**

1. Equipo y material cuyo costo se incluye:
  - a. Conductor y cable o conductor del generador al transformador (45 pies)
  - b. Transformador de incremento (excepto cuando se especifica)
  - c. Interruptor del circuito de la línea de voltaje
  - d. Llave para desconectar la línea
  - e. Conductores y aisladores
  - f. Transformadores de potencia del voltaje de la línea

- g. Pararrayos
  - h. Transformador auxiliar y término de la línea de la estación de servicio
2. Costo incluyendo flete e instalación.
  3. Los costos indicados son para plantas de unidad sencilla.
  4. para determinar los costos de una planta de unidad sencilla, usar la curva apropiada basada en el voltaje del generador, el voltaje y capacidad de la línea.
  5. Para determinar los costos de las plantas de unidades múltiples, usar.
  6. Para voltajes de línea diferentes, usar el costo que se indica para el voltaje inmediatamente superior.
  7. Costo base a Julio 1978, preparado por Tudo Engineering Co.

**Notes:**

1. Equipment and material for which costs are included are:
    - a. Conduit and cable or bus duct from generator to transformer (45 feet)
    - b. Step up transformer (except as noted).
    - c. Line voltage circuit breaker.
    - d. Line disconnect switch.
    - e. Bus and insulators.
    - f. Line voltage potential transformers.
    - g. Lightning arresters.
    - h. Auxiliary station service transformer and line termination.
  2. Costs include freight and installation.
  3. The costs shown are for a single unit plant.
  4. To determine the costs for single unit plants use the appropriate curve based on the generator voltage, line voltage and capacity.
  5. To determine costs for multiple unit plants use Figure 5-39.
  6. For other line voltages, use the cost of the next higher voltage shown.
  7. Cost base is July 1978.
- 

### **Equipos Misceláneos de la Planta de Energía**

Las instalaciones hidroeléctricas mini y pequeñas por lo general son operadas e inspeccionadas desde ubicaciones remotas y por esa razón se las diseña para encasillar solamente el equipo de generación. Por lo general se pueden descartar la calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire y sistemas de desperdicio para viviendas humanas. Durante los períodos de mantenimiento poco frecuentes se puede suministrar agua potable y facilidades de toilet portátiles.

**Ventilación.** Se suministra un ventilador central colocado en el techo o en las paredes de los extremos con control de la temperatura calibrados para funcionar cuando la temperatura suba por encima de 74 grados F. También se incluyen entradas para aire filtrado cerca del piso al nivel del generador.

**Sistema de Agua.** Se suministra un sistema de bombas dobles con filtros para los requisitos de enfriamiento al agua de la turbina y el generador. Se toma el agua de la tubería de entrada o del canal de

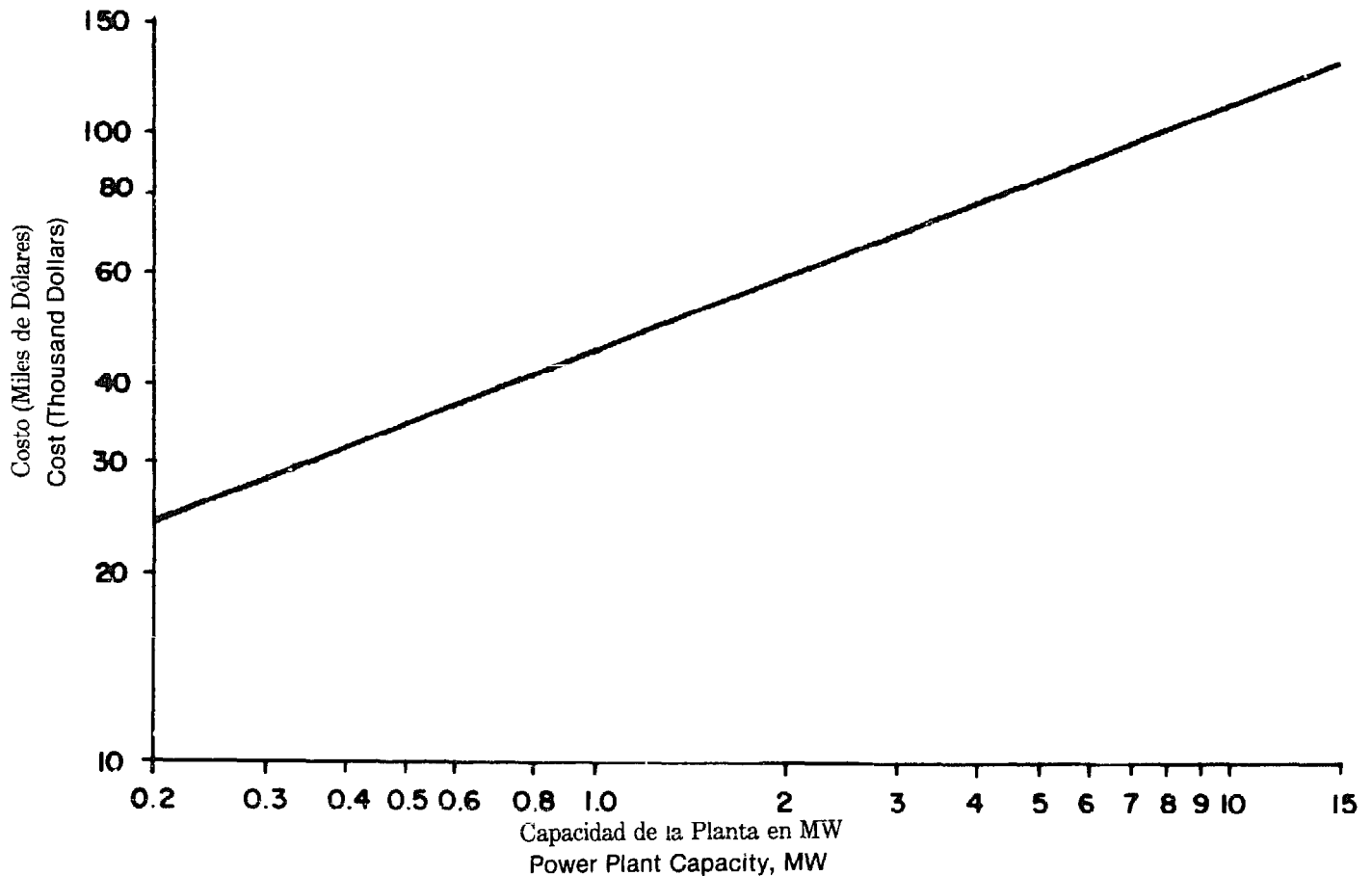
descarga. El sistema de enfriamiento al agua debe operar independientemente del equipo generador de la planta.

**Grúa.** No se recomienda una grúa permanente en las plantas hidroeléctricas pequeñas. Debido al tamaño y costo de tal equipo, se considera más económico traer equipos portátiles para acondicionamientos mayores en la planta.

**Misceláneos.** Por principios de seguridad para los trabajadores se requiere un baño para lavaje de los ojos y un ventilador para el área de las baterías.

**Sistema de Protección contra Incendio.** El sistema de protección contra incendio consiste en un detector operado a CO<sub>2</sub> para extinguir incendio en el encasillamiento del generador y extinguidores portátiles operados a mano para protección adicional contra incendio.

La Figura 14 contiene data para estimar el costo de equipamiento misceláneo de la planta. Los cálculos contienen solo el equipo mínimo descrito en la figura mencionada.



**Figura 14 Miscelaneous Costos de Equipos para Planta de Energía**  
**Figure 14 Miscellaneous Power Plant Equipment Costs**



**Notas:**

1. Los principales equipos misceláneos de una planta de energía son:
  - a. Equipo de ventilación
  - b. Equipo de protección contra incendio
  - c. Equipo de comunicación
  - d. Equipo para enfriamiento usando agua para los rodamientos de la turbina/generador.
2. Los equipos de comunicación incluyen facilidades de supervisión y radio para unidades no atendidas, a control remoto; se deben obtener costos estimativos adicionales para localidades muy remotas o para integración con complejas redes de comunicación.
3. Todas las cifras indicadas incluyen 15% para flete e instalación.
4. Costo base a julio de 1978, preparado por Tudor Engineering Co.

**Notes:**

1. The major miscellaneous power plant equipment is listed below:
    - a. Ventilation equipment.
    - b. Fire protection equipment.
    - c. Communication equipment.
    - d. Turbine/generator bearing cooling water equipment.
  2. Communication equipment includes supervisory and radio facilities for unattended remote control of unit; further cost figures should be obtained for very remote locations or integration with complex communication networks.
  3. All figures shown include 15 percent for freight and installation.
  4. Cost base is July, 1978.
-

# Consideraciones Sobre la Distribución para Proyectos Hidroeléctricos Mini/Micro

Bard Jackson  
Leon Evans

# Distribution Considerations for Mini/Micro Hydro Projects

Bard Jackson  
Leon Evans

El propósito de la presentación del Leon Evans es el de informar a los planificadores e ingenieros de los proyectos acerca de los tipos, cantidades y costo de las facilidades de distribución requerido para ofrecer soporte a un proyecto de hidroenergía mini/micro. No va a los detalles de los requisitos especiales que se deben diseñar en un sistema de distribución, sino mas bien enfoca en algunos de los tópicos aplicables a las estaciones hidroeléctricas mini/micro y a la electrificación rural.

The purpose of Leon Evans' presentation is to inform planners and project engineers of the types, quantity, and costs of distribution facilities required to support a mini/micro hydropower project. It does not go into the details of the special requirements that must be designed into a distribution system, but rather highlights some of the issues applicable to mini/micro hydropower stations and rural electrification.

## Introducción

Básicamente, en el generador de una facilidad hidroeléctrica mini/micro se produce corriente eléctrica alternada, transformada a un voltaje más alto de distribución (primaria), transferida a las cargas del sistema por medio de las líneas de distribución, luego se las transforma al voltaje de servicio (secundario) para uso de los consumidores. El costo de las facilidades de distribución será una mayor parte componente del proyecto hidroeléctrico, a menos que exista al presente algún otro sistema de distribución que tenga otra fuente de energía. El costo de la distribución puede alcanzar hasta aproximadamente 50% del costo del capital requerido para proporcionar servicio a los consumidores rurales. De ahí que un buen entendimiento del sistema de distribución, como parte de un proyecto hidroeléctrico mini/micro, es esencial para realizar un buen estudio de factibilidad.

## Planeamiento Técnico

Un sistema de distribución bien diseñado reduce al mínimo el costo inicial del capital, las pérdidas anuales de energía, el costo de operación, y el costo futuro del capital, cuando se construyan adiciones al sistema. El planificador es confrontado inicialmente con varias diferentes combinaciones de diseño de voltaje, medidas de la línea de conducción y configuraciones del sistema que podrían todos funcionar adecuadamente. Además, el planificador debe considerar factores tales como la seguridad, dependabilidad, e impactos del uso de la propiedad real, los

## Introduction

Basically, AC electric power from a mini/micro hydroelectric facility is produced at the generator, transformed to a higher distribution (primary) voltage, transferred to system loads over the distribution lines, then transformed down to the service (secondary) voltage where it is used by consumers. The cost for distribution facilities will be a major part of the hydroelectric project, unless a distribution system presently exists with some other power source. Distribution cost can account for about 50% of the capital cost required to serve rural consumers. Hence, a good understanding of the distribution system, as part of a mini/micro hydropower project, is essential for a sound feasibility study.

## Technical Planning

A well-designed distribution system minimizes the initial capital cost, the annual energy losses, the operating cost, and the future capital cost when building for system growth. The planner is initially faced with several different combinations of design voltages, line conductor sizes, and system configurations which all could perform adequately. In addition, the planner must consider factors such as reliability, safety, and land use impacts which are not easily quantified. Mathematical expressions can be used to determine the most economical choice; but the number of factors is so high that the expressions become complicated, difficult and unsatisfactory.

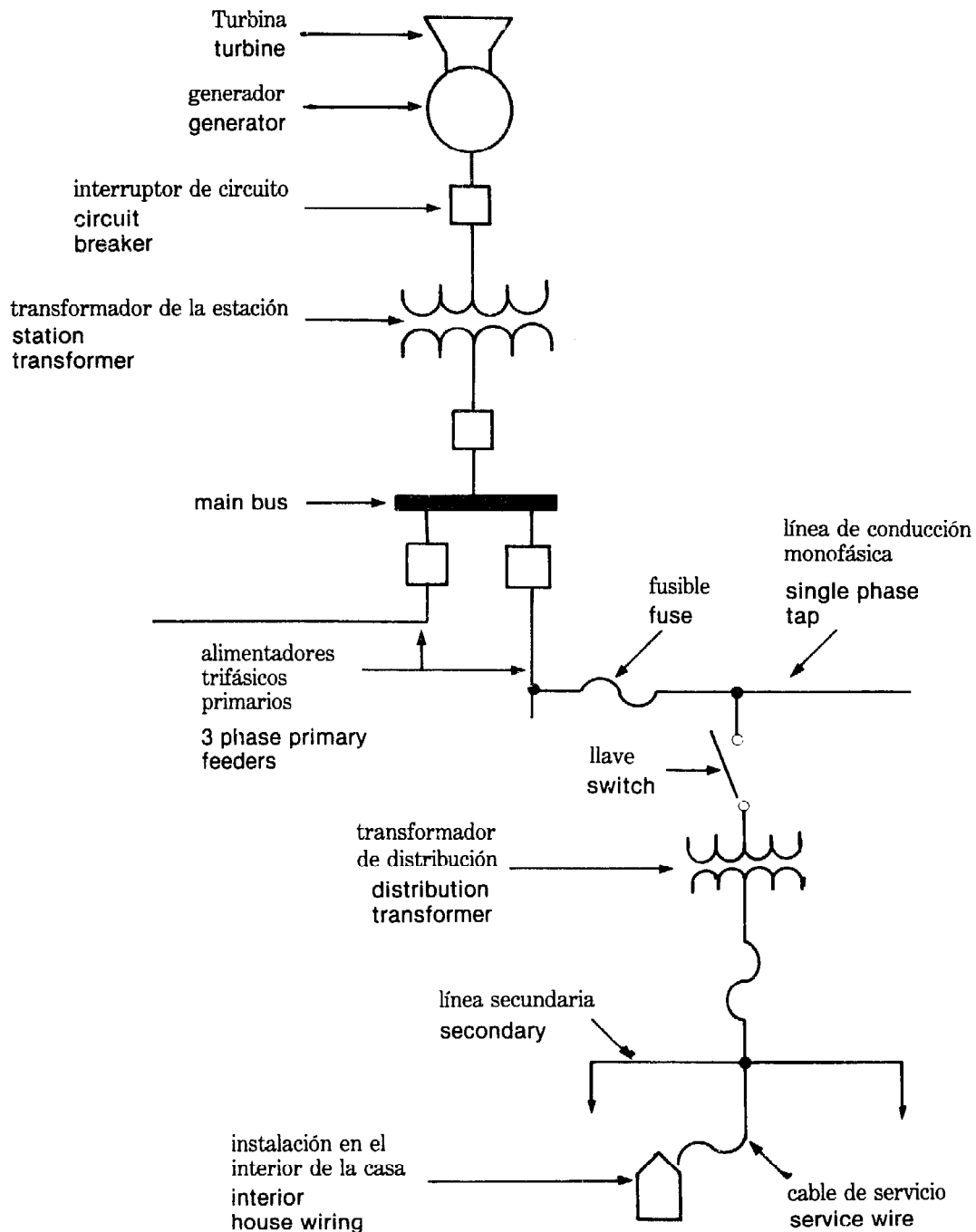


Figura 1  
Figure 1

cuales no son fáciles de cuantificar. Se pueden utilizar expresiones matemáticas para determinar las selecciones más económicas, pero el número de factores es tan elevado que las expresiones se tornan complicadas, difíciles e insatisfactorias. En consecuencia, NRECA ofrece las siguientes guías generales para atacar el planeamiento de un sistema de distribución.

Therefore, NRECA offers the following general guides for approaching a distribution system plan.

### Design Voltage Selection

In the United States there are four major voltage ranges for distribution equipment: 5 kV; 15 kV; 25 kV; and 35 kV. Most rural electric

## Selección del Diseño del Voltaje

En los Estados Unidos hay cuatro variedades mayores de voltaje para equipos de distribución: 5 kV; 15 kV; 25 kV y 35 kV. La mayoría de los sistemas eléctricos rurales usan equipo de 15 kV. Generalmente la construcción de voltajes más elevados cuestan más y el servicio inspira menos confianza. Un diseño de voltaje más bajo tiene mayor pérdida de energía y requiere un conductor de mayor tamaño para distribuir la misma cantidad de energía. Como estos factores tienden a contrabalancearse mutuamente, la consideración más importante en la selección del voltaje es el standard nacional. El standard nacional de voltaje de distribución ofrecerá las siguientes ventajas:

- Diseños uniformes
- Menos inventario de piezas de repuesto
- Habrá más facilidad para interconectar los sistemas aislados a una red de abastecimiento nacional, y
- Los sistemas vecinos pueden tener un depósito común para abastecimiento de piezas de repuesto, transformadores móviles, etc.

Recomendamos el desarrollo de standards nacionales para el voltaje de distribución donde no existan al presente.

## Selección de la Medida del Conductor

Las referencias (1) y (2) contienen varios cuadros y gráficas para determinar la medida óptima del conductor para un nivel dado de voltaje, cargas futuras, longitud del conductor y la regulación del voltaje deseado. No obstante, para reducir una multiplicidad de medidas del conductor, almacenamiento de los depósitos, y funcionamiento total y procedimientos de mantenimiento, se recomienda lo siguiente:

- a. Para los alimentadores trifásicos principales, se ha de utilizar conductor de aluminio 1/0 con seis filamentos de alambre de aluminio y un filamento de acero (6/1 ACSR) con 4-7/1 ACSR como el conductor neutral. Cualquier sistema mayor requiere standard de construcción más pesada con los consecuentes costos adicionales. Si se requiere construcción más pesada durante el período del análisis, se ha de considerar la inclusión de un segundo alimentador de 1/0 ACSR para no poner "todos los huevos en una sola canasta." Todo sistema menor tiene un efecto directo en la continuidad del servicio del sistema. Los alimentadores principales afectan a todos los consumidores, y, consecuentemente, se justifica

systems use 15 kV equipment. Generally, a higher voltage has greater construction cost and less reliable service. A lower design voltage has greater energy losses and requires a larger conductor size to distribute the same quantity of power. As these factors tend to balance each other, the most important consideration in voltage selection is a national standard. A standard national distribution voltage will offer the following advantages:

- Standardized designs,
- Less spare parts inventory,
- Isolated systems will be easier to interconnect into a national grid, and
- Neighboring systems can share spare parts, mobile transformers, etc.

We encourage the development of national distribution voltage standards where they do not presently exist.

## Conductor Size Selection

References (1) and (2) contain various charts and graphs for determining the optimum conductor size for a given voltage levels, future loads, conductor lengths, and desired voltage regulation. However, to reduce a multiplicity of conductor sizes, warehouse stocks, and overall operation and maintenance procedures, the following is recommended:

- a. For main three-phase feeders, utilize 1/0 aluminum conductor with six strands of aluminum wire and one strand of steel (6/1 ACSR) with 4-7/1 ACSR as the neutral conductor. Anything larger requires heavy construction standards with related additional costs. If heavier construction is required in the period of analysis, a second 1/0 ACSR feeder should be considered in order not to place "all of our eggs in one basket." Anything smaller has a direct effect on system continuity of service. Main feeders affect all consumers, and therefore, a cost slightly in excess of the most economical wire is justified. For example: number 1/0 ACSR possesses better strength requirements, and therefore, is more versatile for economical placement of poles in main feeders; number 1/0 ACSR has better reliability standards for lightning strokes; the added circumference distributes

que el costo sea un tanto mayor que el de la instalación más económica. Por ejemplo: el ACSR 1/0 posee mejores requisitos de fuerza, y, en consecuencia es más versátil para la ubicación económica de postes en los alimentadores principales, el ACSR 1/0 es de mayor confianza para casos en que caigan rayos; la circunferencia adicional distribuye el calor asociado con los conectores causando disminución de los problemas relacionados con los mismos, en caso de que haya un problema con los conectores es preferible que se quemé el fusible de un ACSR número 4 más bien que un alimentador principal; si hay una quemazón del sistema del alimentador principal, el personal sabrá de inmediato qué tipo de materiales de reparación deben llevar al campo sin tener que referirse a mapas del sistema o investigar los archivos.

- b. Para todos los fusibles, excepto donde las cargas necesiten conductores mayores, se ha de usar ACSR número 4 tanto para los conductores primarios como para los neutrales. Esto ha de simplificar el mantenimiento de piezas de repuesto, y los procedimientos de operación mantenimiento.
- c. Para la líneas secundarias se coordinan los ACSR 1/0 y 4 ACSR con la capacidad de los transformadores de distribución.
- d. Para las conexiones de servicio, se debe usar ACSR duplex, triplex y cuadruplex para no mezclar los tipos del material.

Cuando se minimiza el número de tamaños de los conductores, también se minimiza el número de tamaños de los conectores, las reconexiones, y las actividades de mantenimiento.

### **Selección de la Estructura de los Postes**

Cuando hayan troncos de madera adecuados para la fabricación de las columnas, se puede producir postes de madera tratada a presión por 50% menos que otras estructuras equivalentes para soporte hechas de concreto. Aunque se pueden producir postes de concreto girados con fuerza pre-tensil de acuerdo a cualquier especificación determinada, una columna de concreto mediana de medida comparable, pesa dos veces más que una columna o poste de madera con un tercio de la fuerza tensil. En la electrificación urbana, donde las columnas van espaciadas a intervalos menores de 50 metros, la preocupación por los requisitos de fuerza disminuye y la diferencia en la economía de los postes de madera vs. columnas de concreto no es tan pronunciada. No

the heat associated with connectors causing less problems with connectors; if there is a connector problem, it is better to burn down a 4 ACSR tap than to burn down a main feeder; if there is a main feeder outage system, personnel know immediately what type of repair materials to carry to the field without reference to system maps or re-searching system files.

- b. For all taps, except where loads necessitate a larger conductor, use 4 ACSR for both the primary and neutral conductors. This will simplify warehousing, operations, and maintenance procedures.
- c. For secondary lines, match 1/0 ACSR and 4 ACSR with the distribution transformer capacity.
- d. For service drops, use ACSR duplex, triplex and quadruplex in order not to mix material types.

By minimizing the number of sizes of conductors, one also minimizes the number of sizes of connectors, splices, and maintenance activities.

### **Pole Structure Selection**

Where timber products suitable for manufacture of wood poles are available, a full pressure treated wood pole may be produced for 50% less than other equivalent concrete support structures. Although spun, pre-stressed concrete poles can be produced to any desired specification, an average concrete pole of comparable size is twice the weight of a wood pole with one-third less tensile strength. In urban electrification, where poles are spaced at intervals of less than fifty meters, strength requirements are of little concern and the economics of wood vs. concrete are not so pronounced. However, in rural electrification, with spans of 150 to 200 meters, tensile strength is of major consideration, and the total cost per kilometer of wood pole line, when compared with concrete, is substantially reduced.

Breakage in transportation over country roads is minimal for wood poles but becomes a measurable factor with concrete poles. Wood pole attachments are simple, which simplifies field framing. The attachments for concrete poles are more expensive and have reduced insulation levels. A wood pole can be handled more easily in the field with simple equipment and requires no special foundations.

obstante, en electrificación rural, que varía de 150 a 200 metros, la fuerza tensil es de mayor consideración y el costo total por kilómetro de una línea con postes de madera, comparado con el de las columnas de concreto, se reduce substancialmente.

El resquebrajamiento en los caminos del campo es mínimo para los postes de madera pero se puede convertir en un factor considerable con las columnas de concreto. Los aditamentos para un poste de madera son simples, lo cual simplifica la instalación en el campo. Los aditamentos para las columnas de concreto son más caros y tienen nivel reducido de aislación. Un poste de madera se puede manejar con más facilidad en el campo con equipos simples y no requiere cimiento especial.

Se pueden producir localmente los postes de madera de larga duración con apreciables ahorros contribuyendo así al adelanto de la electrificación rural y al desarrollo de nuevos establecimientos comerciales pequeños.

### **Selección de la Ruta**

En la selección de rutas para las líneas de distribución se ha de seguir las consideraciones de los criterios siguientes:

- La existencia de caminos abiertos en todas las estaciones para los alimentadores trifásicos principales,
- La existencia de caminos por lo menos abiertos en ciertas estaciones para las derivaciones monofásicas, y
- La densidad de la población de consumidores.

Las altas densidades de las poblaciones de consumidores, cuando al principio se pase por áreas rurales, producirán máximos ingresos de las inversiones iniciales, lo cual es siempre un método deseable. Posteriormente, se deberá solicitar consumidores potenciales ubicados sobre o en las cercanías de las facilidades existentes en el orden siguiente:

1. Aquellos que puedan conectarse directamente desde las facilidades secundarias existentes,
2. Aquellos que se puedan conectar por medio de extensiones de las facilidades secundarias existentes,
3. Aquellos que puedan ser servidos por las líneas existentes con la adición de un transformador y facilidades secundarias,
4. Extensiones de líneas primarias de no más de dos trechos.

Long-lasting wood poles can be produced locally in many areas at appreciable savings thereby contributing to the advance of rural electrification and the development of new small businesses.

### **Route Selection**

The following criteria should be considered in selecting routes for distribution lines.

- The existence of all weather roads for main three phase feeders,
- The existence of at least seasonal roads for single-phase taps, and
- Consumer density

High consumer densities, in the first pass through a rural area, will yield maximum returns from initial investments, which is always a desirable approach. Next, one should solicit potential consumers located on or near existing facilities in the following order:

1. Those who may be connected directly from existing secondary facilities,
2. Those who may be connected through the extension of existing secondary facilities,
3. Those who may be served from existing lines with the addition of a transformer and secondary facilities,
4. Extensions of primary lines of no more than two spans.

### **Other Distribution Equipment**

In order to minimize below the ground corrosion problems, galvanized steel ground rods and anchor rods are recommended.

Customer meters add to the overall cost of the project and some rural systems have operated without them. In such cases, each system consumer pays a standard monthly rate regardless of the amount of energy used. Eventually, a few large consumers may use most of the system energy and, in effect, be subsidized by the other consumers. To prevent this inequity, we recommend that consumer meters be installed.

Socket meters designed for outside installations are recommended to eliminate the necessity for constructing a weather-proof box to shelter the meter. A fringe benefit of these meters is the ease of performing disconnects for non-payment of bills. In lieu of disconnecting the service wires from the secondary, which necessitates a lineman, the meter can be isolated from the socket by means of a plastic cap, costing less

## Otros Equipos de Distribución

Para reducir al mínimo los problemas de corrosión por debajo del nivel del suelo, se recomienda el uso de varillas de acero galvanizado para el suelo y varillas de anclaje.

Los medidores para el consumidor aumentan el costo total del proyecto y a veces algunos sistemas rurales han operado sin ellos. En tales casos, cada consumidor del sistema paga una tarifa mensual standard sin tomar en consideración la cantidad de energía utilizada. Eventualmente, unos pocos consumidores mayores podrían utilizar la mayor parte de la energía del sistema, y, en efecto, son subvencionados por los otros consumidores. Para evitar esta desigualdad, recomendamos que se instalen medidores para los consumidores.

Se recomienda usar medidores encasillados diseñados para instalaciones al aire libre para eliminar la necesidad de construir una caja impermeable para proteger el medidor.

Un beneficio adicional de estos medidores es la facilidad para desconectar en caso de falla en el pago de las cuentas. En lugar de desconectar los cables del servicio de la línea secundaria, que necesita un operador, se puede aislar el medidor mediante una tapa de plástico que cuesta menos de U\$50.10 el par, y este procedimiento puede ser ejecutado con facilidad y sin riesgo, por un empleado de la compañía de electricidad.

A medida que el sistema se torna financieramente fuerte, los ingresos de las extensiones de la línea y el servicio a los consumidores individuales deben ser prorrateados con los ingresos de los consumidores existentes para asegurar que los promedios del sistema siempre produzcan un margen positivo de operación. Por supuesto, esto diluirá el promedio de consumidores por transformador y por kilómetro de línea, pero los niveles de experiencia local permitirán para entonces que la administración del sistema establezca sus propios criterios para evitar problemas financieros de larga duración. Creemos que el objetivo final deberá ser proveer servicios a toda el área.

## Sistemas de Distribución Típicos

Se presentan tres sistemas pequeños de distribución para demostrar el rango y grado de las facilidades de distribución requeridos por los proyectos de 10 kW, 100 kW and 1000 kW. Cada tamaño tiene sus propias características e indicará la complejidad y planeamiento requeridos para servir cargas de un sistema similar de hidroelectricidad mini/micro.

than U.S. \$0.10 per pair, and this procedure can safely be performed by any electric utility employee.

As the system becomes financially strong, revenue from line extensions and service to individual consumers should be averaged in with existing consumers' revenue to assure that system averages will always yield a positive operating margin. This will, of course, dilute the average number of customers per transformer and per kilometer of line, but local experience levels will, by this time, enable system management to establish its own criteria for avoiding long-range financial problems. We believe the ultimate objective should be area coverage service to all.

## Typical Distribution Systems

Three small distribution systems are discussed to show the range and degree of distribution facilities required for projects of 10 kW, 100 kW and 1000 kW size. Each size has its own characteristics and will indicate the complexity and planning required to serve loads from a similar mini/micro hydropower system.

### 10 kW

A 10 kW distribution system is small enough that secondary voltage circuits can handle the power output. Because the unit is so small, the cost per kW for the civil works, turbine, and generator will likely be quite high. Hence, the electrical distribution should be as simple and cheap as possible. The load center for this small system should be within one kilometer of the generator site to limit the voltage drop. Sites of this potential size and with a load center greater than 1 km away are most likely to be unfeasible.

### 100 kW

Generating units and distribution systems of 50 kW or more are generally three phase systems. Where the load center is greater than 1 km from the generating site, the voltage can be stepped up to a standard distribution voltage to reduce the energy losses in the conductor and the voltage drop in remote areas. Single phase lines serve secondary transformers directly and must all carry approximately equal loads for the three phases to be balanced. The primary feeder protection is coordinated with the tap fuses such that faults on the tap lines will not interrupt service in the remaining system.

## 10 kW

Un sistema de distribución de 10 kW es suficientemente pequeño de modo que los circuitos de voltaje secundarios pueden acarrear la energía de salida. Como la unidad es tan pequeña, el costo por kWh de los trabajos civiles, la turbina y el generador posiblemente ha de ser muy elevado. En consecuencia, la distribución eléctrica debe ser tan simple y barata como fuere posible. El centro de la carga para este sistema pequeño debe estar ubicado dentro del radio de un kilómetro de la ubicación del generador para limitar la caída del voltaje. Los lugares para este tamaño potencial con un centro de carga que diste más de 1 km muy posiblemente no serán factibles.

## 1000 kW

A 1000 kW system is large enough to justify additional facilities for improving service reliability. The station should have more than one primary feeder and may provide an alternate feeder for key loads. Figure 4 is a one line diagram of a three phase 1000 kW system with an alternate feed to the village load.

### Interconnection With an Existing Distribution System

Interconnecting a small hydroelectric generator to an existing distribution system must be done with regard to the safety, electrical protection, and service quality of the existing system.

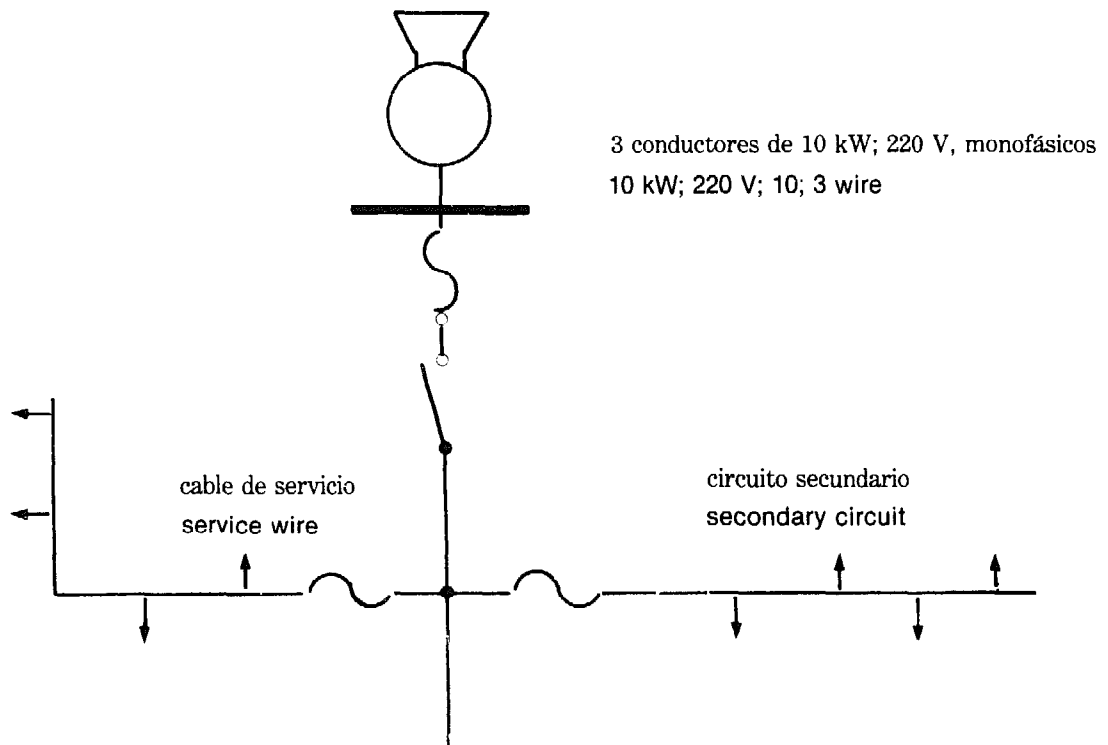


Figura 2

Figure 2



## 100 kW

Las unidades generadoras y sistemas de distribución de 50 kW o más, son por lo general sistemas trifásicos. Cuando el centro de carga esté a mayor distancia que 1 km del lugar de generación, el voltaje se podrá aumentar a un voltaje de distribución standard para reducir las pérdidas de energía en el conductor y la caída del voltaje en áreas remotas. Las líneas monofásicas sirven directamente a los transformadores secundarios y deben todos acarrear aproximadamente carga igual para que las tres fases se mantengan en equilibrio. La protección del alimentador primordial se coordina con las tapas de los fusibles de modo que las fallas de las líneas de las tapas no vayan a interrumpir el servicio en el resto del sistema.

A simple method for integrating a small hydropower unit with an existing electric system is to isolate a portion of the load on the existing system and serve it solely from the hydro station. To do this, the station must have a synchronous generator. A normally-open switch could be closed to serve this isolated load from the existing source during periods when the hydro unit is shut down. An interlock ensures that the switch would not close while the generator is operating. This arrangement is shown in Figure 3.

Many existing distribution lines are protected by reclosers which respond to faults by briefly de-energizing the line, and then reclosing to restore service in the likely event that the fault was temporary. This operation may be repeated

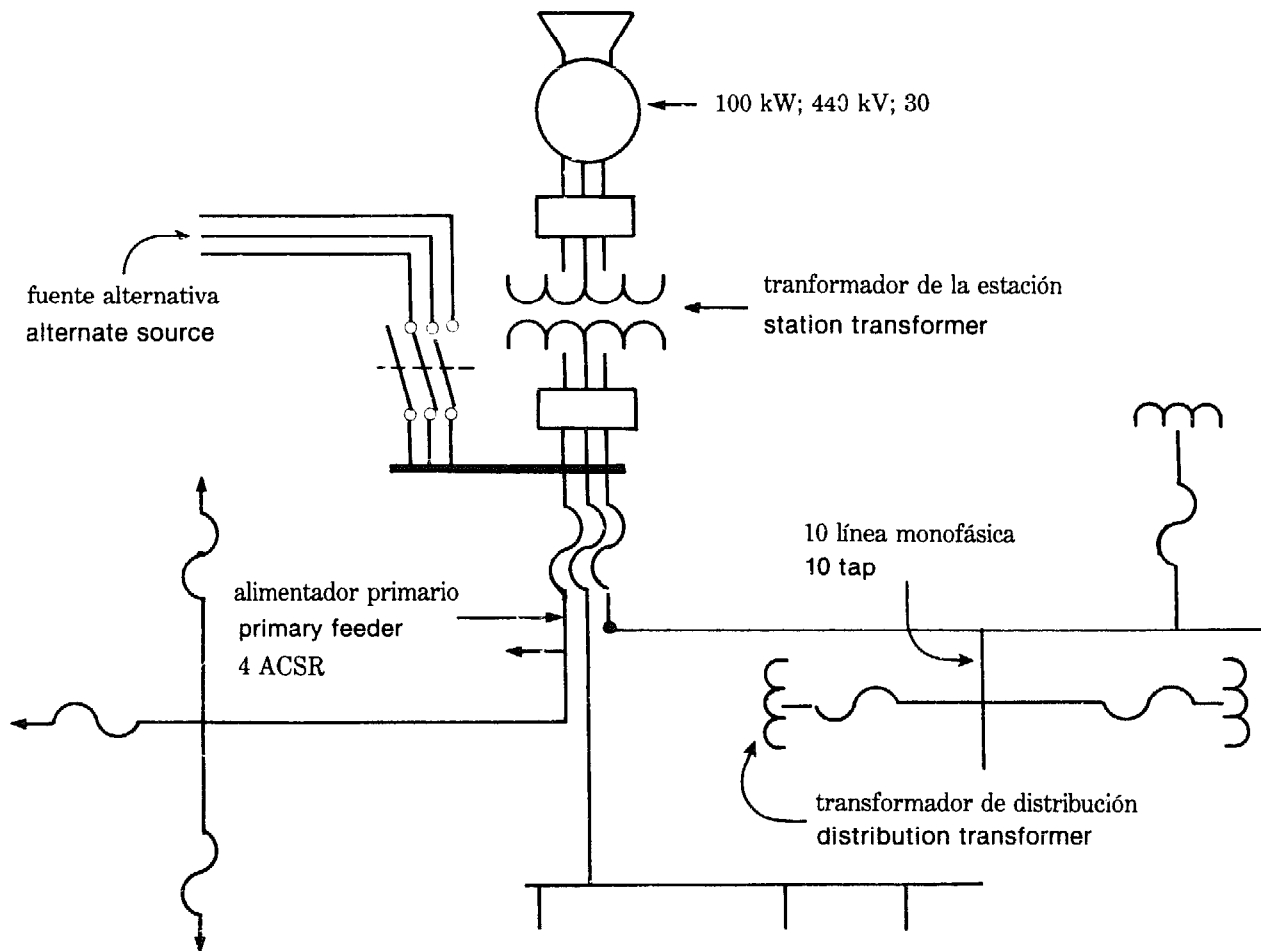


Figura 3

Figure 3

## 1000 kW

Un sistema de 1000 kW es suficientemente grande como para justificar facilidades adicionales para mejorar el buen funcionamiento del servicio. La estación debe tener más de un alimentador primordial y puede proveer un alimentador alternativo para las cargas clave. La Figura 4 es el diagrama de una línea de un sistema trifásico de 1000 kW con un alimentador alternativo para la carga de la villa.

up to three times before the recloser "locks out" leaving the line de-energized. If a hydro unit feeds directly into a line protected by a recloser, the alternate disconnecting and reconnecting may result in damage to the generator because of excess current or abrupt torque changes. Whenever a recloser is used near a small generator, the effects of the recloser operation on the generator should be investigated.

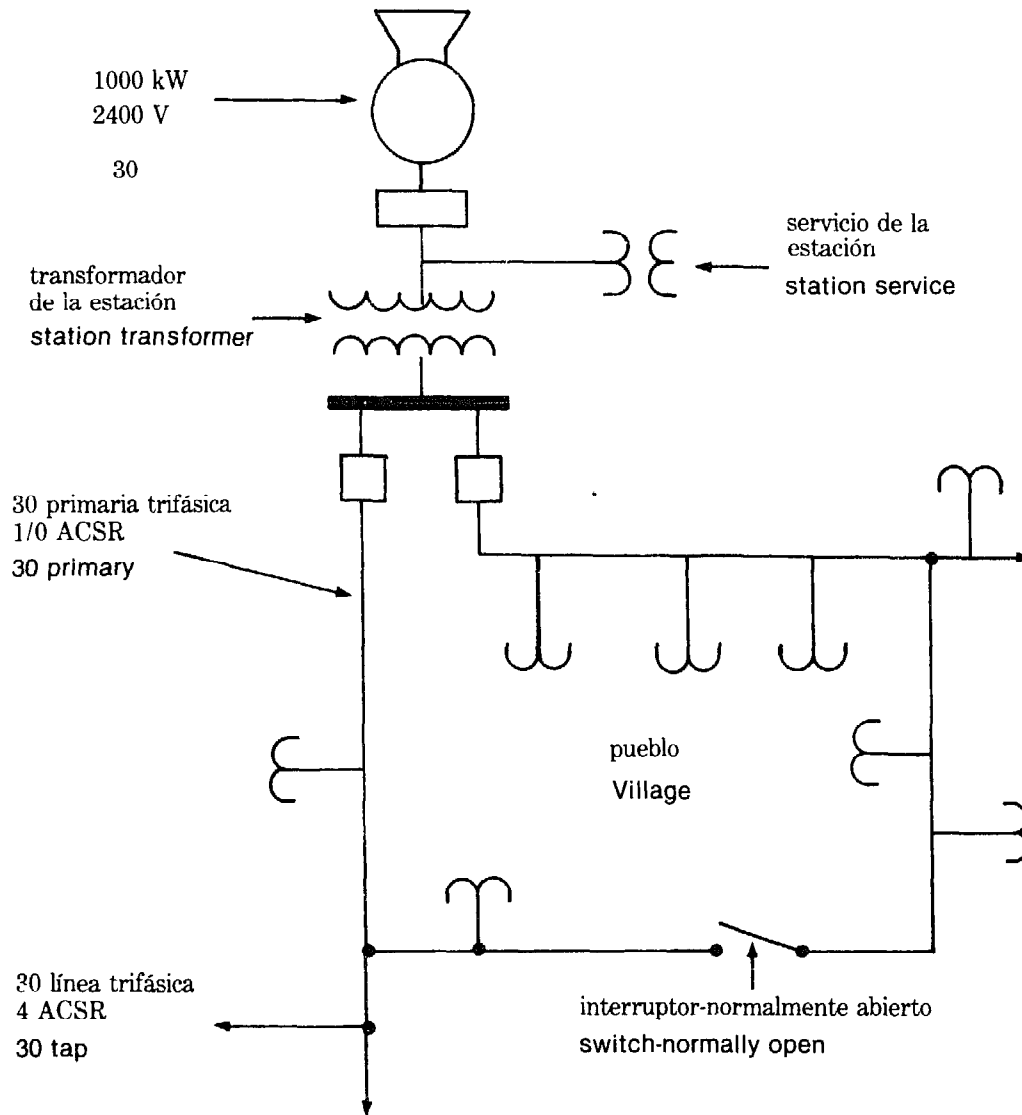


Figura 4  
Figure 4

## Interconexión con un Sistema de Distribución Existente

La interconexión de un generador pequeño de hidroenergía a un sistema de distribución existente debe hacerse con toda consideración a la seguridad contra riesgos, protección eléctrica, y la calidad del servicio del sistema existente.

Un método simple para la integración de una unidad pequeña de hidroenergía con un sistema eléctrico existente es el de aislar una porción de la carga del sistema existente y servirla solamente desde la estación hidráulica. Para efectuar esta operación, la estación debe tener un generador sincronizado. Una llave que normalmente esté abierta se puede cerrar para servir esta carga aislada de la fuente existente durante los períodos cuando la unidad hidráulica esté cerrada. Un sistema "interlock" asegura que la llave no se cierre cuando el generador esté en operación. Este arreglo se diseña en la Figura 3.

Muchas líneas de distribución existentes están protegidas por re-cerradores que responden a las fallas mediante breve de-energización de la línea, y luego volviendo a cerrar para restaurar el servicio en el caso de que la falla fuere sólo temporaria. Esta operación puede repetirse hasta tres veces antes de que el re-cerrador quede trancado dejando la línea sin energía. Si una unidad hidráulica alimenta directamente a una línea protegida por un re-cerrador, la desconexión y reconexión alternadas pueden resultar en daño al generador por causa del exceso de las corrientes o el abrupto cambio de torsión. Siempre que se use un re-cerrador cerca de un generador pequeño, se debe investigar los efectos del re-cerrador en la operación del generador.

Cuando se interconecte con un pequeño sistema aislado de distribución que pudiera tener una pequeña unidad generadora existente, se debe examinar las características de operación de la unidad nueva y de la unidad existente para asegurar que ambas unidades puedan ser operadas paralelamente. Las características de la disminución de la velocidad deben ser coordinadas para asegurar que un generador no vaya a "motorizar" al otro.

Cuando se interconecte una unidad hidroeléctrica pequeña con un sistema existente, y en caso de falla del sistema existente, la unidad hidráulica suministrará una porción de la corriente en falla. En consecuencia, se debe volver a calcular los artefactos protectores y ajustarlos para tomar en cuenta la corriente adicional en falla. Antes de que los traba-

When interconnecting with a small isolated distribution system that may have an existing small generating unit, the operating characteristics of the new and existing units must be examined to ensure that the units can be operated in parallel. Speed-drop characteristics must be coordinated to ensure that one generator will not "motorize" the other.

When a small hydro unit is interconnected with an existing system, and in the event of a fault on the existing system, the hydro unit will supply a portion of the fault current. Hence, the protective devices must be recalibrated and set to account for the additional fault current. Before workers can go out to repair the faulted line, it must be ensured that the generating unit can not feed back into the faulted line thus endangering the public and line crews. Generally, we recommend that the hydro unit be de-energized and kept out of service until a faulted line is repaired or safely isolated from the system.

## REA Standards

The United States Rural Electrification Administration (REA) has printed numerous specifications, standards, and instructions for the planning, designing, constructing and operating rural electric power systems. Over 1/3 of the electric distribution lines in the U.S. were built to these specifications. All of these specifications and standards are available for a small fee from the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

Since 1963, NRECA has worked in over thirty countries performing services such as initial surveys, selection of project sites, feasibility studies, project implementation and follow-up consulting services to ongoing rural electric systems. To date, essentially all distribution systems have been designed according to USA — REA standards and, where applicable, REA accounting and reporting procedures have been adopted. By following REA standards, engineering designs generally provide ample initial capacity for expansion and development of consumer loads without expensive rebuilding for a period of ten to fifteen years. Accordingly, NRECA supervised projects are currently meeting all load requirements with no foreseeable need to rebuild backbone facilities.

jadores puedan ir a reparar la línea con falla, se debe asegurar que la unidad generadora no pueda alimentar de vuelta en la línea con falla, de tal modo apeligando al público y al equipo de operarios. Generalmente, recomendamos que la unidad hidráulica sea de-electricada, y mantenida fuera de servicio hasta que la línea en falla sea reparada o se la haya aislado del sistema para operar sin riesgos.

## Standards de la Administración de Electrificación Rural

La Administración de Electrificación Rural de los Estados Unidos (REA) ha imprimido numerosas especificaciones, standards e instrucciones para la planificación, diseño, construcción y operación de sistemas rurales de energía eléctrica. Más de 1/3 de las líneas de distribución eléctrica en los Estados Unidos se han construido de acuerdo con dichas especificaciones. Todas estas especificaciones y standards se pueden ordenar de la oficina del Superintendente de Documentos, Oficina de Imprenta del Gobierno de los Estados Unidos, Washington, D.C. 20402.

Desde 1963, NRECA ha trabajado en más de treinta países proporcionando servicios tales como investigaciones iniciales, selección de lugares para la ubicación de proyectos, estudios de factibilidad, implementación de proyectos y servicios de consulta para proseguir con los sistemas rurales de electricidad ya establecidos. A la fecha, esencialmente todos los sistemas de distribución han sido diseñados de acuerdo con las guías de REA - USA y en los casos en que fuere aplicable, se ha adoptado los procedimientos de contabilidad y de reportar. Cuando se sigan las guías de REA, los diseños de ingeniería generalmente suministran amplia capacidad inicial para expansión y desarrollo de las cargas del consumidor sin necesidad de incurrir en costosas reconstrucciones por un periodo de diez a quince años. De acuerdo con esto, los proyectos supervisados por NRECA al presente, corrientemente satisfacen todos los requisitos de carga sin necesidad anticipada para la reconstrucción de facilidades estructurales.

Las áreas rurales requieren un alto standard de construcción para minimizar futuros costos de operación y mantenimiento. Cuanto más lejos el consumidor se encuentre de la central de los servicios, más alto será el standard de construcción requerido. NRECA recomienda altamente el uso de los standards de REA como requisito mínimo.

Rural areas require a high standard of construction to minimize future operations and maintenance cost. The further the consumer is from a service headquarters, the higher the standard of construction required. NRECA strongly recommends the use of REA standards as a minimum requirement.

Table 1 lists some REA Bulletins that are useful for distribution system planning.

---

## Useful REA Publications for Distribution Planning

Number	Title
REA Bulletin 40-6	Construction Methods and Purchase of Material and Equipment
REA Bulletin 45-1	Guide for Making Voltage Drop Calculations
REA Bulletin 45-2	Demand Tables
REA Bulletin 45-3	List of Materials Acceptable for Use on Systems of REA Electrification Borrowers
REA Bulletin 60-8	System Planning Guide, Electric Distribution Systems
REA Bulletin 60-9	Economical Design of Primary Lines for Rural Distribution System
REA Bulletin 160-2	Engineering and Operations Manual for Rural Electric Systems
REA Bulletin 169-4	Voltage Levels on Rural Distribution Systems
REA Form 803	Specifications and Drawing for 14.4/24 kV Line Construction
REA Form 804	Specifications and Drawing for 7.2/12.5 kV Line Construction

(Table 1)

---

## Cost Estimates

We recommend that all distribution construction be planned, bid, constructed, and paid for on the basis of assembly units. An assembly unit is a collection of materials to serve a specified function. For example, Table 2 lists the materials

La Tabla 1 enumera algunos de los Boletines de REA que son útiles para el planeamiento de sistemas de distribución.

## Publicaciones de REA Útiles para la Planificación de la Distribución

Número	Título
Boletín REA 40-6	Metodos de Construcción y Compra de Materiales y Equipo
Boletín REA 45-1	Guía para Calcular la Caída del Voltaje
Boletín REA 45-2	Tablas de las Demandas
Boletín REA 60-8	Guía para la Planificación de un Sistema, Sistemas de Distribución Eléctrica
Boletín REA 60-9	Diseño Económico de Líneas Primarias para Sistemas de Distribución Rural
Boletín REA 160-2	Manual de Ingeniería y Operaciones para Sistemas Eléctricos Rurales
Boletín REA 169-4	Niveles de Voltaje en Sistemas de Distribución Rurales
Formulario de REA 803	Especificaciones y Dibujo para la Construcción de una Línea de 14.4/24 kV
Formulario de REA 804	Especificaciones y Dibujo para la Construcción de una Línea de 7.2/12.5 kV

Tabla 1

## Cálculo Estimativo de Costos

Recomendamos que toda la construcción de la distribución sea planificada, que se soliciten precios, se construya y se pague en base a unidades de ensamblaje. Una unidad de ensamblaje es una colección de materiales que sirven para una función específica. Por ejemplo, la Tabla 2 enumera los materiales requeridos para un soporte trifásico de brazos cruzados, unidad de ensamble VC-1. Una ilustración de la unidad VC-1 aparece en la Figura 5 que fué tomada del formulario de la REA 803, *Especificaciones y Dibujo para la Construcción de una Línea de 14.4/24.9 kV*.

required for a three-phase crossarm support; unit assembly VC-1. An illustration of the VC-1 unit is shown on Figure 5 which is taken from REA Form 803, *Specifications and Drawing for 14.4/24.9 kV Line Construction*.

All of the materials required for distribution line construction are included in their appropriate unit assemblies. The number of assemblies required per kilometer of distribution line can be calculated and, as shown in Table 3, used for estimating the cost per kilometer of line. Table 4 shows base cost for additional materials required in a distribution project.

These and other base cost estimates are included in Table 5 which shows the total cost estimate of serving a typical 14.4/24.9 kV system having 10 km of three-phase main feeder and serving 500 consumers.

Tables 3, 4, and 5 are from a report by NRECA for the World Bank Group entitled *A Report on Rural Electrification: The Cost Benefits, Usages, Issues, and Developments in Five Countries*.<sup>3</sup> The costs are from a 1972 study in Nicaragua and are not representative of today's cost.

## Comments on Rural Electrification

Although NRECA could possibly be prejudiced about the overall urgency of expanding electrical service, we do recognize that rural electrification is a marginal program if measured only in direct monetary return and a long-term investment of resources in competition with other worthwhile infrastructure development. Since it is a program which requires grassroots support and often experiences a time lag between established goals and accomplishments, rural electrification is better handled as a basic ingredient or essential part of a total development program.

Direct monetary success also takes time, and even in the U.S. rural electrification program it was often a decade or more before revenues exceeded operating costs. There is, of course, no waiting period for the beginning of achievement of the main objectives, that is, area development and a better quality of life for people.

Long experience has identified certain key factors which have contributed significantly to the success of area-wide electrification. Among these are:

- A favorable political climate in the central government,

Unidad VC-1	Numero	Costo del Material	Costo del Contrato de Mano de Obra Contract Labor Cost	Ajuste de Administr. Overhead Adjustment	Costo Unitario Unit Cost	Comentarios Remarks
a. aislador tipo alfiler pin type insulator	3	9.57				
b. soporte del aislador al tope del poste pole top pin	1	1.46				
c. bulones machine bolts 5/8 "	3	.81				
d. arandelas cuadradas square washers 2 1/4 "	4	.40				
f. barras de cruce crossarm pins	2	3.30				
g. brazo de cruce crossarm 8'	1	4.13				
cu. soporte de madera del brazo de cruce (par) wood crossarm brace	1	4.25				
i. bulon carriage bolt	2	.12				
j. tornillo de retardación lag screw	1	.07				
bs. bulón sensillo single upset bolt	1	.76				
ek. tuercas de cierre locknuts	4	.08				
		24.95	12.50	9.36	46.81	

Tabla 2  
Table 2

Todos los materiales requeridos para la construcción de una línea de distribución están incluidos en sus unidades de ensamble respectivas. Se puede calcular el número de ensambles requeridos por kilómetro de línea de distribución, y, como se indica en la Tabla 3, se pueden utilizar para estimar el costo por kilómetro de la línea. La Tabla 4 indica el costo base para materiales adicionales requeridos en un proyecto de distribución.

- A qualified central coordinating agency to assure direction, standardization, and continuing strength in the program,
- A concerned local system operating institution.
- Clearly designated service area to eliminate duplication and permit effective system planning.

## Base de Costo por Kilometro 14.4/24.9 kV Construcción Urbana

### Base Cost per Kilometer 14.4/24.9 kV Urban Construction

30 alimentadores principales usados por circuitos de distribución en centros urbanos. Promedio de un poste por cada 50 metros para acomodar los alambres de servicio.)

(Main 30 feeders used for distribution circuits in urban centers. Average of one pole per 50 meters to accommodate service drops.)

Cantidad	Descripción	Costo Unitario del Material	Costo Unitario Mano de Obra y Otros	Costo Total
Quantity	Description	Unit Cost Material	Unit Cost Labor & Other	Total Cost
20	11 Postes de Medidores Meter Pole	47.23	41.81	1780.80
17	VC-1	24.95	21.86	795.77
2	VC-2	54.29	47.51	203.60
1	VC-8	88.96	77.87	166.83
3000M	D-1/0 ACSR	1.164	0.164	984.00
1000M	D-4 ACSR	1.098	0.098	196.00
2	VE 1-3	9.76	8.57	36.66
2	F 1-3	4.65	22.41	54.12
17	VM 2-12	5.48	4.81	174.93
3	VM 2-11	4.55	10.51	45.18
20	VM 10-15	1.43	1.30	54.60
				4492.49

**Tabla 3**  
**Table 3**

Estos y otros estimativos de costo básico se incluyen en la Tabla 5 que indica el costo total estimativo para servir un sistema típico de 14.4/24.9 kV que tenga un alimentador principal trifásico de 10 km y sirva a 500 consumidores.

Las Tablas 3, 4 y 5 vienen de un reporte preparado por NRECA para el Grupo del Banco Mundial

- Systems with service areas of adequate area, population and load potential for an economically effective operation.
- A professional full-time management staff.
- A continuing source of appropriate long-term capital financing for system growth to meet the total needs of the area.

**Costo Básico de la Instalación del Servicio**

**Base Cost of Service Installation**

Cantidad	Descripción	Costo Unitario del Material	Costo Unitario Labor y Otros	Costo Total
Quantity	Description	Unit Cost Material	Unit Cost Labor & Other	Total Cost
15M	2 # 6 Duplex	6.41	6.50	12.91
15M	3 # 6 Triplex	7.69	8.16	15.85
15M	3 # 4 Triplex	10.64	10.13	20.77
15M	4 # 1/0 Quadruplex	19.29	13.77	33.06
15M	4 # 3/0 Quadruplex	27.66	17.21	44.87

Cada instalacion de servicio incluye costos de instalación de conectores de bulones quebrados, unidades de ensamble k-10 y K-15.

Each service installation includes installation costs of split bolt connectors, K-10 and K-15 assembly units.

**Costo Básico de la Instalación Interior de una Casa**

**Base Cost of Interior House Wiring**

Cantidad	Descripción	Costo Unitario del Material	Costo Unitario Labor y Otros	Costo Total	
Quantity	Description	Unit Cost Material	Unit Cost Labor & Other	Total Cost	
1	Caja de Fusibles con interruptores de 10 o 15 amp.	Panel Box 10 or 15 ampere breakers	5.83	5.10	10.93
20M	#12 TX no metálicos	#12 TX non-metallic	0.166	0.146	6.24
20M	#14 TW no metálicos	#14 TW non-metallic	0.144	0.126	5.40
60	Grampas	Staples	0.02	0.02	2.40
3	Receptaculos de Pared	Wall Receptacles	0.43	0.38	2.43
3	Enchufes electricos con cadenas	Light Sockets with pull chain	0.72	0.63	4.05
					<u>31.45</u>

Tabla 4  
Table 4



Costo por consumidor servido por un sistema de distribución 30 con 500 consumidores de una población de 5000/6000 ubicados en un radio de 10 km de la red de abastecimiento 30.

Cost per consumer served from 30 distribution system 500 consumers 5000/6000 population located 10 kilometers from 30 grid.

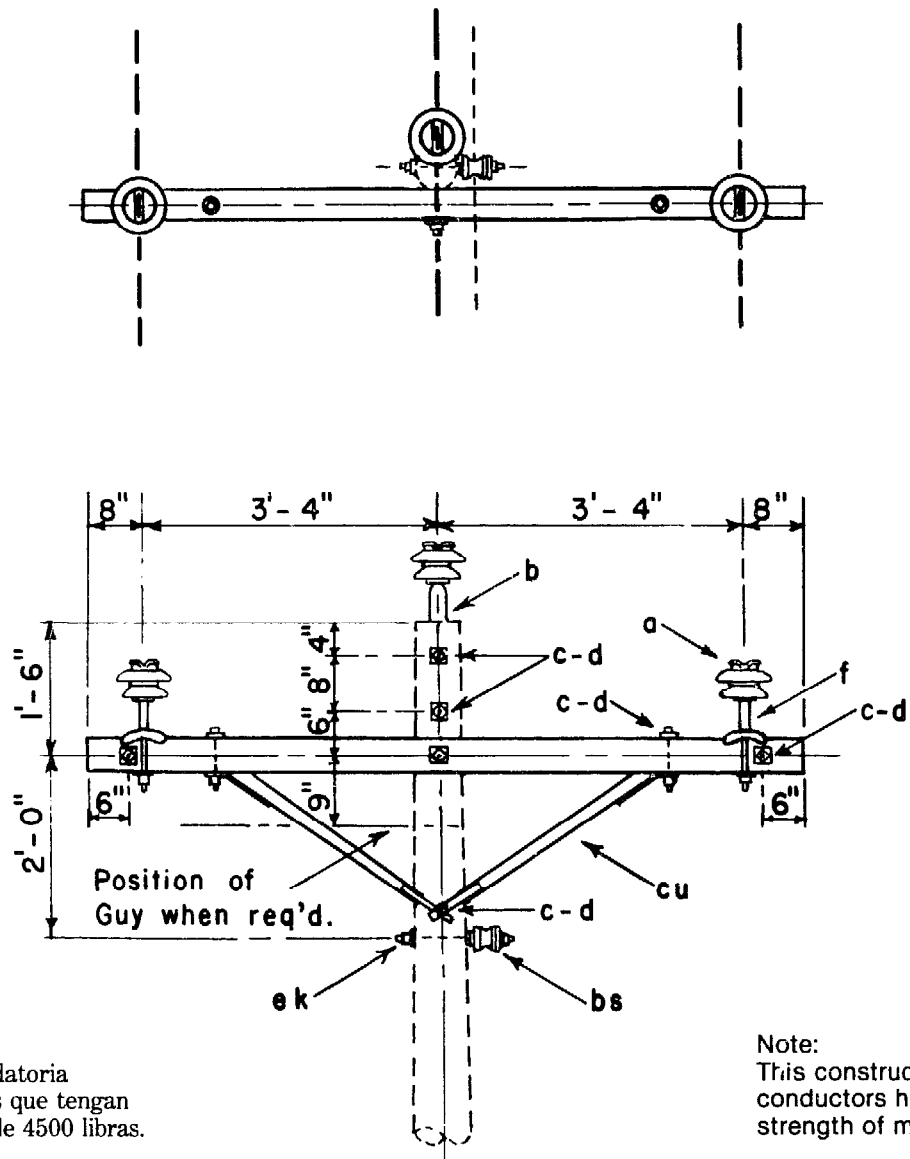
10 KM	30 Alimentador 14.4/24.9 kV Feeder	@ 3,253.84 =	32,538.40
1 KM	30 alimentador 14.4/24.9 kV usado para distribución ( used for distribution )	@ 4,492.49 =	4,492.49
1/2 KM	30 Tapa 14.4/24.9 kV Tap	@ 4,643.83 =	2,321.92
1/2 KM	10 Tapa 14.4 kV Tap	@ 3,083.93 =	1,541.97
3 KM	3 W Secundaria Secondary	@ 3,577.38 =	10,732.14
1 KM	3 W Secundaria Secondary	@ 3,313.38 =	3,313.38
2 KM	3 W Secundaria Secondary	@ 728.60 =	1,457.20
13	25 KVA Transformadores Transformers	@ 361.13 =	4,694.69
	CSP – 14.4 kV		
200	3 #6 Services	@ 15.85 =	3,170.00
300	2 #6 Services	@ 12.91 =	3,873.00
500	Class 100 Meters	@ 26.96 =	13,480.00
200	Instalacion Interior en una casa Interior House Wiring Installations	@ 31.45 =	6,290.00
			<u>\$87,869.19</u>
			\$ 176/Consumers

27.78 Consumidor; por Kilometro  
Consumers/Kilometer  
Initial

Tabla 5  
Table 5

Figura 5

Figure 5



Nota:  
Esta construcción es mandatoria  
para todos los conductores que tengan  
una fuerza límite de más de 4500 libras.

Note:  
This construction required for all  
conductors having a breaking  
strength of more than 4500 pounds.

Item	No.	Material	Item	No.	Material
a	3	Aislador, tipo alfiler Insulator, pin type	f	2	Soporte cruzado Pin, crossarm, clamp type
b	1	Soporte del aislador al tope del poste Pin, pole top, 20"	g	1	Brazo Cruzado Crossarm, 3 3/4" x 4 3/4" x 8'-0"
c	2	Bulones Bolt, machine, 1/2" x req'd length	bs	1	Bulón simple aislado Bolt, single upset, insulated
c	6	Bulones Bolt, machine, 5/8" x req'd length	cu	1	Soporte de madera del brazo de cruce Brace, wood, 60" spar
d	2	Arnadelas redondas Washer, round, 1 3/8" dia.	ek		Tuercas de cierre Locknuts
d	10	Arnadelas, Cuadradas Washer, square, 2 1/4"			

14.4 / 24.9 kV  
3-phase Crossarm Construction - 0° to 2° Angle  
(Large Conductors)

Construcción de los Brazos de Cruce Trifásico - Angulo de 0° a 2° (Conductores Grandes)

titulado *Un Reporte Sobre Electrificación Rural: Los Beneficios del Costo, Usos, Tópicos, y Desarrollos en Cinco Países*.<sup>3</sup> Los costos vienen de un estudio de 1972 en Nicaragua y no son representantes de los costos de hoy día.

## **Comentarios Sobre Electrificación Rural**

Aunque NRECA posiblemente podría tener prejuicios acerca de la necesidad urgente de la expansión del servicio eléctrico, reconocemos que la electrificación rural es un programa marginal si se la mide sólo en términos de ingresos monetarios directos y se la mira como una inversión de recursos a largo plazo en competencia con otros valiosos desarrollos de la infraestructura. Como es un programa que requiere el soporte de incipientes grupos comunitarios y a menudo hay un lapso de tiempo entre el establecimiento de los objetivos y su actual realización, es mejor manejar la electrificación rural como un ingrediente básico o parte esencial de un programa de desarrollo total integrado.


El éxito monetario directo también toma tiempo, y aún en el programa de electrificación rural en los Estados Unidos a menudo pasaba una década o más antes de que los ingresos excedieran los costos de operación. Por supuesto, no hay período de espera para el principio del cumplimiento de los objetivos principales, es decir, el desarrollo del área y el mejoramiento de la calidad en la vida de la gente.

La larga experiencia ha identificado ciertos factores clave que han contribuido significativamente al éxito de la electrificación total de un área. Entre ellos se citan:

- Un clima político favorable en el gobierno central
- Una agencia central coordinadora bien calificada para asegurar que el programa tenga buena dirección, normalización y continuo impulso
- Una institución local que se dedique a la operación del sistema
- Área de servicio claramente determinada para eliminar duplicación y permitir planeamiento efectivo.
- Para obtener una operación económicamente efectiva, un sistema debe cubrir un área de servicio adecuada, con población suficiente y una carga potencial que lo justifique.
- Un personal profesional administrativo que trabaje a tiempo completo.
- Una fuente continua de financiamiento apropiado de capital a largo plazo a fin de soportar el creci-

- An adequate source of power at a reasonable cost through purchase or generation.
- Standardized specifications and high quality design and construction.
- Long-range engineering and financial plans.
- Retail rates that equitably promote the system objectives of increasing production and encouraging a better quality of life.
- Effective consumer service programs.
- Continuing training programs for management and operating personnel.


Bringing an effective electrification program to all of the people of an area or a country is a long, difficult task. There are, however, real benefits that do not appear on any financial or operating reports: the new stores, repair shops, homes, and the improved quality of life for the community. It is these benefits that make the effort worthwhile.



miento del sistema para satisfacer las necesidades de toda el área.

- Una fuente adecuada de suministro de energía a costo razonable ya sea por compra o generación.
- Especificaciones uniformadas y diseño y construcción de alta calidad.
- Planes a largo plazo tanto en ingeniería como en finanzas.
- Tarifas para el consumo que promuevan de manera equitativa los objetivos del sistema en términos de aumento de la producción y que ayude al incremento de mayor calidad en la vida de la población.
- Programas efectivos de servicio al consumidor.
- Constantes programas de entrenamiento para el personal administrativo y el de operaciones.

Poner en efecto un programa efectivo de electrificación para toda la gente de un área o un país es una tarea larga y difícil. Hay, sin embargo, beneficios reales que no aparecen en ninguno de los reportes financieros o de operación: Los negocios nuevos, los talleres de reparación, hogares, y la mejor calidad en la vida de la comunidad. Y son estos beneficios los que dan valor al esfuerzo.



## References

1. *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*, Westinghouse Electric Corporation, 1950
2. *Electric Utility Engineering Reference Book — Distribution Systems*, Westinghouse Electric Corporation, 1950
3. Moon, Gilbert, "Report on Rural Electrification: The Cost, Benefits, Usages, Issues, and Developments in Five Countries," A report for the World Bank Group by NRECA, July 1974
4. Fink, Donald and Beaty, Wayne *Standard Handbook for Electrical Engineers*, Eleventh Edition, McGraw-Hill Book Company, 1978
5. *Study of Utility Interface Problems With Dispersed Power Systems*, Draft Report, National Rural Electric Cooperative Association, Research and Technology Development Committee, Project #80-2, Orville Zastrow, Consultant.

## Oportunidades para la Manufactura Local de Equipos Hidroeléctricos

Kenneth M. Grover

---

La posibilidad de manufactura local para equipos hidroeléctricos es uno de los elementos que influyen para hacer atractivas a las pequeñas centrales hidroeléctricas. Kenneth M. Grover delinea las oportunidades que pueden ser implementadas de inmediato sin requerir el desarrollo de toda una industria.

---

Un método de sistemas generales para los problemas de hoy día consiste en lo siguiente:

- La Fuente de energía. Para recuperar la energía del agua ha de haber un flujo razonable acoplado con suficiente caída para permitir la recuperación económica de la energía de la fuente.
- La nueva forma de energía que buscamos como resultado de nuestro sistema debe ser la electricidad, y debemos poder demostrar las ventajas de AC vs DC así como las otras características eléctricas de la carga de la demanda.
- Hoy día podemos diseñar el sistema que ha de convertir mejor la energía de la fuente a la forma de energía deseada.

Se puede agregar aquí que si la situación fuere así tan simple, podríamos todos abandonar esta conferencia sin que ello ocasione pérdida alguna.

Es posible seleccionar una fuente de energía de cualquier número de lugares posibles, dentro de los estrechos parámetros de la caída y el flujo de modo que podremos atender "Diseños Normalizados" para nuestras oportunidades de manufactura local. Para los fines de este artículo, debemos reconocer la relación entre costos del capital y el Tamaño Físico del Equipo. Este reconocimiento, cuando se lo aplique, ha de tener el efecto de rehusar la mayoría de las proposiciones cuando la caída sea menor que 8 metros, a menos que se haya calculado el costo completo del abastecimiento del agua en otros lugares tales como en un sistema de irrigación. En general, sobre una base por kilowatio, cuanto mayor sea la caída, menor costoso será el equipo del agua a la planta. Nuestra preferencia es trabajar con rotores de influjo radial de hasta 15 metros de caída, y con una maquinaria de impulsos de más de 15 metros.

## Local Opportunities in Hydroequipment Manufacturing

Kenneth M. Grover

---

The possibility of local manufacture of hydroelectric equipment is one of the elements that makes small hydro attractive. Kenneth M. Grover outlines those opportunities that can be most readily implemented without involving development of an entire industry.

---

A general systems approach to our problem of the day consists of the following:

- The Energy Source. In order to recover energy from water, we must have reasonable flow together with enough head to permit economic recovery of power from the energy source.
- The new energy form we are seeking as output from our system must be electrical and we must be able to spell-out the advantage of ac vs dc, as well as the other electrical characteristics of the demand load.
- We may now design the system which will best convert the energy from the energy source to the energy form desired.

I may add here that, if it were as simple as this, we could have all of us missed this workshop without loss.

It is possible to select an energy source from any number of candidate sites within fairly narrow parameters of head and flow so that we may attempt a set of "Standardized Designs" for our local manufacturing opportunities. For purposes of this paper, we will recognize the relationship between capital cost and physical size of equipment. This recognition will, when followed out, have the effect of rejecting most applications where head is less than about 8 meters, unless the completed water supply has been costed elsewhere, such as in an irrigation system. In general, on a per-kilowatt basis, the more head available, the less costly the water-to-wire equipment becomes. We like to work with radial in-flow runners up to about 15 meters of head and with impulse machinery above 15 meters.

Para desarrollar oportunidades de manufactura local, lo esencial es mantenerla simple, fuerte y de costo efectivo. Hay algunas realidades aplicables a las pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas que simplemente no se aplican a los sistemas mayores. Los sistemas más pequeños normalmente aprovecharán la corriente natural, es decir, que utilizarán aguas cuyo costo para traer a la turbina será muy bajo. Para los fines de este análisis, consideramos que el agua es gratuita.

En la mayoría de los casos, sin la posibilidad de crear reservorios, el sistema descartaría agua la mayor parte del año. El costo adicional de las turbinas de alta eficiencia, con o sin características tales como contornos de flujo movable, simplemente no resulta satisfactorio en la mayoría de los pequeños sistemas descentralizados. En la ecuación donde la *Energía = Flujo x Caída x Eficiencia*, la energía

### 11.8

recuperada varía directamente con el flujo y la caída así como la eficiencia, de modo que se puede agregar simplemente un poco más de flujo o de caída para resultar con la misma cantidad de energía con un poco menos eficiencia. Un ingeniero interesado en obtener la energía necesaria de una corriente sin represa, no puede justificar un porcentaje, aún un aumento de 10% en la eficiencia de la maquinaria cuando se desarta el uso una corriente de agua. La situación completamente opuesta ocurre cuando las facilidades civiles incluyendo represas y compuertas de control de desbordes son calculadas en función del agua usada por la turbina. También hay otros puntos importantes, entre ellos el caso de que ya no estaríamos lidiando con pequeñas centrales hidráulicas descentralizadas. Esta gran diferencia en la filosofía del diseño posibilita la manufactura local de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

Sugiero que consideren comprar ciertas piezas para la turbina-generador de manufactura local, de grandes fabricantes de bombas de agua. Como un simple ejemplo, si el flujo es de uno a tres pies cúbicos por segundo, se podrá utilizar toda la bomba con excepción del rotor. La base, el eje, los rodamientos, los sellos y toda la caja se podrán usar directamente de los depósitos. El impulsor deberá ser reemplazado por un rotor que podría ser diseñado localmente, o con la ayuda de un consultante. Hay una bomba que fué convertida varias veces para servir como una turbina hidroeléctrica. Por cada pie cúbico de flujo, y con una caída de 8 metros, la energía teórica es de 2.2 kW. Con una eficiencia del generador de aproximadamente 90%, y una eficien-

For local manufacturing opportunities, we urge you to keep it simple, sturdy and very cost-effective. There are some truths applicable to small decentralized hydro that simply do not apply to larger systems. The smaller systems will normally be run-of-stream, that is they will use water that has had very little money expended in bringing it to the turbine. For the purpose of analysis, we assume the water is to be considered free.

In most cases, without "ponding" ability, the system will discard water for a major part of the year. The added cost of high-efficiency turbines, with or without features such as movable flow contours, simply does not pay out on the majority of small decentralized systems. In the equation where *Power = Flow x Head x Efficiency*,

### 11.8

the power recovered varies directly with flow and head, as well as the efficiency, so that we may simply add a little more flow or head to give the same output power with a slightly lower efficiency. For the engineer interested in getting the needed power from a stream without a dam, a 5%, or even 10% increase in efficiency cannot be justified when a stream of unused water is being discarded. Quite the reverse would be true if expensive civil facilities, including dam and flood control gates, were costed against the water used by the turbine. Several other things would also be true, among them the fact that we would probably not be dealing any longer with small decentralized hydro. This very large difference in design philosophy makes possible the local manufacture of small hydro equipment.

We would like to suggest that consideration be given to the purchase of certain parts of your locally-manufactured turbine-generator from a large builder of water pumps. As a simple example, with flows from one to 3 cubic feet per second, you could use the entire pump except the runner. Base, shaft, bearings, seals and the entire casing could be used directly from "stock." The impeller would have to be replaced with a runner that could be designed locally or with the aid of a consultant. There is a pump which I have converted several times to service as a hydro turbine. For each cubic foot of flow, and with 8 meters of head, the theoretical power is 2.2 kW. With a generator efficiency of about 90% and a turbine efficiency apparently about 60%, we had overall efficiency near 55% and the unit produc-

de la turbina de aparentemente al rededor de 60%, se consiguió una eficiencia total de cerca de 55% y la unidad produjo como 1.3 kW. No me gusta considerar esto como una conversión de una bomba a una turbina, sino más bien la colocación de un anillo de la paleta de toma y su correspondiente rotor, la convierte en un encasillado para la bomba. Este es un ejemplo de lo que se puede conseguir utilizando el talento local para la manufactura con poca ayuda de otros.

### Descripción de Concepto

Basicamente las turbinas hidráulicas tienen tres elementos de funcionamiento. Dos de dichos elementos son usualmente estacionarios mientras el tercero es rotatorio. Tomando los tres en orden:

1. Un sistema de abastecimiento y distribución de agua. Aquí se recibe el agua bajo la caída disponible y se la distribuye bajo presión al segundo elemento.
2. La Compuerta, Boca y otros elementos de conversión de energía donde la presión (caída x .433 libras) se convierte a velocidad de la energía y se da una dirección al flujo (vector primario). La conversión se hace de acuerdo a la formula  $Velocidad = \sqrt{2gc}$ , donde g (gravitación) = 32.2, c = caída neta cuando la turbina esté funcionando. Esto da por resultado la Velocidad lineal en pies por segundo.
3. El tercer elemento es el rotor, o impulsor. Dentro de esta parte de la turbina, la velocidad de la energía se reduce tan cerca como sea posible a cero. La desaceleración del agua de alta velocidad se consigue mediante el cambio de su dirección dentro del rotor de modo que empuje contra las paletas del rotor en movimiento en su paso a través del elemento. Se deberá agregar quizás que en los cubos de una turbina a impulsos la velocidad del chorro del agua es el doble de la velocidad del cubo. Cuando el cubo esté en movimiento a velocidad normal en dirección opuesta a la del chorro de agua, y cuando la velocidad de rebote sea igual a la velocidad de entrada, la velocidad actual del agua rebotada (relativa al caso) también resulta en cero.

Una bomba opera de manera inversa a la turbina que hemos descrito en el párrafo anterior. También aquí están presentes los tres elementos de operación. Y también dos son estacionarios y uno es rotatorio, como sigue.

ed 1.3 kW as close as we did the measurements. I do not like to consider this a conversion of a pump to a turbine, rather the placing of an inlet vane ring and matching runner into a pump casing. This is something that can be done by local manufacturing talent with little outside help.

### Concept Description

Basically, hydraulic turbines have three working elements. Two of the elements are usually stationary, while the third rotates. Taking the three in order:

1. A water supply and distribution system. Here the water is received under the head available and is distributed under pressure to the second element.
2. The gate, nozzle, or other energy conversion element where the pressure (head x .433 pounds) is converted to velocity energy and given a direction of flow (primary vector). Conversion is according to the formula,  $Velocity = \sqrt{2gh}$ , where g = 32.2, where h = net head available when the turbine is running. Then Velocity is in linear feet per second.
3. The third element is the runner or impeller. Within this part of the turbine, the velocity energy is reduced as closely as can be done to zero. The deceleration of the high velocity water is accomplished by changing its direction within the runner so that it is pushing against the moving blading of the runner in its path through the element. I should perhaps add that, in the buckets of an impulse turbine, the velocity of the water jet is about twice the velocity of the bucket. When the bucket is at normal speed and moving away from the jet of water, and when the velocity of re-bounce is equal to the velocity of entry, the actual velocity of the rebounding water (relative to the case) also approaches zero.

A pump works in reverse manner to the turbine we have described in the paragraph above. Again the three working elements are present. Again two are stationary and one rotates and they are as follows:

1. A water source with enough Net Positive Suction Head so that flow will continue into the eye of the runner (or impeller) as the water is discharged at the periphery.

1. Una fuente de agua con suficiente caída neta de succión positiva de modo que el flujo continuará en el centro del rotor (o el impulsor) a medida que se descargue el agua en la periferia.
2. Un impulso que sirve sólo para acelerar el agua por uso de fuerza centrífuga a medida que se mueva a través de la máquina. Este es el elemento movable de la máquina y funciona de manera exactamente opuesta a la turbina (donde el agua es desacelerada por el rotor en su paso a través de la máquina).
3. Un sistema difusor (Otra vez exactamente reverso a la compuerta o boca de la turbina) donde la energía de la velocidad se convierte en la caída (presión). Sin tomar en cuenta las eficiencias, se aplicará misma fórmula y  $c = V^2 \text{ dividido por } 2g$  (gravitación).

De lo descrito anteriormente y de nuestra experiencia en la construcción de turbinas con el encasillado para las bombas, sabemos que tenemos un sistema que opera en reverso. Se puede ahorrar mucho tiempo en la manufactura si no se trata de duplicar el trabajo que y había sido producido en masa por otros en un campo de alta competencia.

Con caídas de más de 15 metros y en instalaciones descentralizadas pequeñas probablemente es mejor atenerse al uso de turbinas de impulsos. Esto no precluye las posibilidades de manufactura local. Simplemente se necesita comprar la boca y la rueda de la turbina de una de las muchas compañías que ofrecen este equipo y construir el resto localmente.

Ya se habrá notado que no he mencionado control de la velocidad. Para el suministro de aguas no inventareadas, en lugares donde no se ha de operar en paralelo con otro sistema ac (red de operación), no creo en la necesidad de reguladores sincronizados para el control de la velocidad. Sí recomiendo que la turbina sea mantenida a capacidad de carga máxima mediante el uso de un desviador electrónico de la carga. Cuando la carga de la demanda disminuye, el desviador puede cambiar la energía producida por la turbina-generador a una carga artificial. Haciendo que estos incrementos artificiales de la carga sean suficientemente pequeños, la turbina cree que no ha habido cambio en la carga, y no habrá cambio en la velocidad (o frecuencia) (o voltaje) si no se introducen otros cambios en el sistema.

### **Manufactura de Equipos Para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Decentralizadas**

Los requisitos para la manufactura de equipos para

2. An impeller that serves only to accelerate the water by use of centrifugal force as it moves through the machine. This is the moving element of the machine and it works in exactly the reverse manner from the turbine (where the water is decelerated by the runner in its path through the machine).
3. A diffuser system (again exactly the reverse of the turbine-nozzle or gate) wherein the velocity energy is now converted to head (pressure). Neglecting efficiencies, the same formula will apply and  $h = V^2 \text{ divided by } 2g$ .

Now both from the above and from our experience in building turbines within pump casings, we know we have a system that will work in reverse. Much time can be saved in manufacturing if you will not try to duplicate work that has already been mass-produced by others in a very competitive field.

I would like to state that with heads above 15 meters and on small decentralized installations, you will probably be better off to stick with impulse turbines. Nor does this preclude local manufacturing possibilities. Simply buy the nozzle and turbine wheel from one of many who offer this equipment and build up the rest of the package locally.

By now someone has noticed that I have not mentioned speed control. For non-inventory water supplies, for locations where you will not be operating in parallel with another ac system (network), I do not believe in synchronous speed control governors as such. I would recommend that the turbine be kept fully-loaded by use of an electronic load-diverter. When the demand load decreases, the diverter is able to shift the power being produced by the turbine-generator to an artificial load. By making these artificial load increments small enough, the turbine "thinks" its load has not changed and there will be no change in speed (or frequency) (or voltage), if no other change is introduced into the system.

### **Manufacture of Small Decentralized Hydro Equipment**

The requirements of small decentralized hydro equipment manufacturing are modest when compared with the requirements of organizations supplying equipment in sizes above about 1000 kW. These needs cover four general areas:

- Capital Cost



pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas son modestos cuando se los compara con los requisitos de organizaciones que suministran equipos de medidas mayores que 1000 kW. Estas necesidades cubren cuatro areas generales.

- Costo del Capital
- Requerimientos de mano de obra
- Material en bruto
- Tecnología

Se debe mencionar de entrada que cada una de estas necesidades puede ser disminuída mediante la compra de ensamblajes parciales o subensambles, siempre que sea posible. Una expansion de las necesidades específicas de los cuatro artículos precedentes cubrirían referencia especial a: abastecimiento de agua, equipo rotatorio casa de máquinas, y controles eléctricos de más allá de las terminales del generador.

Con respecto al costo del capital del abastecimiento de agua, va sin necesidad de explicación que cuanto mayor sea el volumen de agua requerido por el sistema, mayor será el gasto en obras civiles para proveer el agua a los bordes de entrada de la turbina. En general, se puede hacer trueque de gastos civiles para la provisión de agua por máquinas rotatorias más baratas. Siempre que exista la posibilidad de gastar más fondos para obtener caída adicional se puede ahorrar comprando máquinas rotatorias más baratas. Siempre que trabajemos con equipos para plantas hidroeléctricas descentralizadas pequeñas se reconoce que normalmente consideramos aplicaciones de la corriente natural de manera que el abastecimiento de agua en sí no sea uno de los más grandes artículos de costo.

El sistema de abastecimiento de agua, sin embargo, se convierte en una consideración mayor en cuanto a mano de obra. Aun más cuando se consideren equipos para pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas en las que a menudo sustituimos mano de obra por maquinarias en lugares remotos y difíciles de alcanzar. En la búsqueda de un sustituto para la mano de obra he encontrado que el equipo simple de una sola pieza que he utilizado con más frecuencia en lugares remotos es un tractor montado en rieles, que tiene un cargador en el frente y un azadón en la parte de atrás. Para más economía, se debe usar la unidad más grande que se pueda conseguir, que se adapte a la ubicación remota y así se ahorrará tiempo y dinero.

La materia prima requerida para el suministro de agua fué cubierta en otro artículo: "Selección de Lugares e Instalación de Turbinas."

- Labor requirements
- Raw materials
- Technology

It should be mentioned at once that each of these needs is lessened by the purchase of partial assemblies or sub-assemblies when possible. I would like to expand on the specific needs of the four preceding items with special reference to: water supply, rotating equipment, power house, and electrical controls beyond the generator terminals.

With respect to the capital cost of water supply, it goes without saying that, the greater the volume of water required for the system, the larger will be the civil expenditures to provide the water to the turbine inlet flange. In general, we can trade off civil expenditures for water supply against cheaper rotating machinery. Whenever we have the possibility of spending extra money for added head, we can then save on cheaper rotating machinery. When working with small decentralized hydro equipment, it is always recognized that normally we are considering run-of-stream applications so that water supply itself is not one of the major items of equipment.

The water supply system however does become a major labor consideration. Even more so when working with small decentralized hydro equipment where we are often substituting hand labor for machinery in difficult, remote locations. In seeking a substitute for hand labor I have found that the most valuable single piece of equipment which I have used in remote locations throughout the world is a tractor mounted on tracks, fitted with a front-end loader on the front and a back-hoe on the rear. For further economy, use the largest unit size equipment that you can get into the remote location and you will save time and money.

The raw material requirement for water supply was covered in another paper: "Site Selection and Turbine Setting." Basically, we refer to aggregate, sand, cement, reinforcing steel and material for the construction of forms. In addition, a small amount of steel will normally be required for headgates, trash-racks, penstocks, and supporting steel structure.

Technology in water supply involves mainly the knowledge of the characteristics of stream flow as portrayed by flow duration curves, annual rainfall, and ratio of run-off to rainfall as well as

Básicamente nos referimos al agregado de arena, cemento, acero de refuerzo y material para la construcción de bloques. Además, normalmente será necesario tener una pequeña cantidad de acero para las compuertas, rejillas de protección contra la basura, cañerías de presión y estructura de acero para soporte.

La tecnología en el abastecimiento del agua implica principalmente el conocimiento de las características del flujo de la corriente conforme se las describe en curvas de duración del flujo, caída anual de lluvias, y proporción del agua desperdiciada a la cantidad de lluvia caída así como información de las precipitaciones mensuales. En un promedio de once instalaciones anteriores en todo el mundo, de pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas parece que encontramos que el abastecimiento del agua es aproximadamente un 20% del costo total de operación de una planta hidráulica.

El costo de capital concerniente a equipos rotatorios puede variar de acuerdo a la selección del lugar, lo cual al mismo tiempo determina la selección del equipo. Cuando se opere con caídas de más de 15 a 20 metros, siempre es posible utilizar maquinarias de tipo a impulsos con las correspondientes altas velocidades de rotación. Para lugares seleccionados que requieren este tipo de maquinaria, recomiendo que se compre la boca, el eje y los rodamientos, y una rueda de impulso, fundida, de uno de los varios proveedores de este tipo de componentes. Se podrá comprar estos componentes para ensamblaje en los talleres propios en un encasillado de acero soldado con un costo de componentes a partir de aproximadamente \$1000 por kW para tamaños pequeños de más o menos 3 kW bajando a aproximadamente \$250 por kW para maquinarias que se acerquen a los 1000 kW.

Los requisitos de mano de obra consisten esencialmente de prensas de perforación, un torno y buena capacidad para soldadura.

La materia prima requerida para el equipo rotatorio implica principalmente planchas de acero en espesor de un cuarto de pulgada hasta una pulgada para las unidades más grandes.

La tecnología requerida para la manufactura de equipos rotatorios de la turbina será modesta cuando se siga el método mencionado anteriormente para la compra de los componentes. En general, la tecnología requiere capacidad para soldar y cierto grado de experiencia hidroeléctrica. Con respecto a esto último, inicialmente se podrá utilizar consultantes y a medida que se desarrolle la curva de la

monthly precipitation information. On an average of eleven preceding installations throughout the world on small decentralized hydro, we seem to be finding that water supply is approximately 20% of the total cost of the operating hydro plant.

The capital cost involved with rotating equipment can vary according to the site selection, which in turn dictates the equipment selection. When working with heads in excess of 15 to 20 meters, it is always possible to use impulse-type machinery with attendant high rotating speeds. For site selections requiring this kind of machinery, I would like to suggest that you purchase the nozzle, shaft and bearings, and a finished cast impulse wheel from one of the several vendors who supply these components. You would be able to purchase these components for assembly in your own shop in a welded steel casing for a component cost beginning at about \$1000 per kW for sizes as small as 3 kW, down to approximately \$250 per kW for machinery approaching 1000 kW.

The labor requirements consist essentially of drill presses, one lathe, and good welding capability.

Raw materials required for the rotating equipment would involve mainly steel plate in thicknesses from one-quarter inch up to one inch (for larger sizes).

The technology required for manufacturing the rotating turbine equipment would be modest when the aforementioned approach of purchasing components is followed. In general, the technology would involve welding capability and some degree of hydroelectric expertise. With respect to the latter, this could be available from consultants initially and provided within the manufacturer's organization as the experience curve develops.

I would not initially recommend that the electrical equipment be manufactured locally since it is available throughout the world at very competitive pricing. By electrical equipment, I would also mean to include the controls necessary to maintain voltage and frequency at desired levels.

### **Powerhouse**

The capital requirements for a powerhouse involve two major parts. The first is the foundation for the turbine, adequate provision for supply of water to the turbine and removal of the spent

experiencia podrá ser provisto por la organización de los fabricantes.

Inicialmente yo no recomendaría que el equipo eléctrico sea manufacturado localmente, ya que tal existe en todo el mundo a precios muy competentes. Dentre del rango de equipos eléctricos incluiríamos los controles necesarios para mantener el voltaje y la frecuencia a los niveles deseados.

**Casa de Máquinas.** El capital requerido para una planta de energía envuelve dos partes principales. La primera es el cimiento para la turbina, y provisiones adecuadas para el abastecimiento de agua a la turbina y descarga de las aguas usadas a la pileta de descarga. La casa de máquinas de por sí debe ser construida con materiales adecuados para sobrellevar mucha agua local y humedad, con una estructura suficientemente fuerte como para poder soportar la parte rotatoria de la maquinaria. La casa de máquinas misma, sobre su propio cimiento, puede ser estimada a un valor de \$30.00 por pie cuadrado por material y mano de obra sin incluir una grúa de por encima. El costo del capital para cubrir una grúa en la casa de máquinas variará de acuerdo con el tamaño de la maquinaria que se utilice. En general, no ha de ser menor que US\$500 ni más que US\$7,5000.

Los requerimientos de mano de obra para la casa de máquinas son muy modestos y consisten principalmente en albañiles y carpinteros.

La materia prima para la casa de máquinas sería mejor que fuera de origen local, es decir, roca y madera así como también pequeñas cantidades de cemento o concreto. Habrán algunos artículos misceláneos de techado, vidrios, acero de soporte y demás.

La tecnología envuelta en la casa de máquinas será más o menos la misma que la que se usa para construir cualquier otro edificio y no impondrá dificultad en una ubicación remota. Para lugares remotos en todo el mundo hemos utilizado la cifra de aproximadamente 30% del total del costo de erección de la plant hidroeléctrica, como representativo de la casa de máquinas y el cimiento.

## Controles Eléctricos

En cuanto a este artículo se puede conseguir precios locales de fuentes de todo el mundo y no se debería tratar de fabricarlos. El autor deja el tema de la transmisión de energía a otros ya que las pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas raramente requieren facilidades de transmisión de cualquier magnitud.

water to the tail water pool. The powerhouse itself should be built of materials adequate to withstand a lot of local water and wetting with overhead structure strong enough so that maintaining the rotating machinery is possible. The powerhouse proper, on its own foundation, could be estimated at about \$30 per square foot for materials and labor, but not including an overhead crane. The capital cost for the crane in the powerhouse will vary according to the size of the machinery used. In general it will not be less than 500 U.S. dollars nor more 7500 U.S. dollars.

The labor requirements for the powerhouse are very modest consisting mainly of masons and carpenters.

The raw materials for the powerhouse would best be local in origin, meaning rock and wood together with smaller amounts of cement or concrete. There will be miscellaneous items of roofing, glass, supporting steel and so forth.

Technology involved in the powerhouse will be about the same as that used in constructing any other building and will not pose any difficulty in a remote location. For remote locations throughout the world, we have used apporoximately 30% of the total erected cost of the hydro plant to be represented by the powerhouse and foundation.

## Electrical Controls

As far as this item is concerned, it can be priced locally from sources throughout the world and no attempt should be made to manufacture it. The author is leaving the subject of transmission of power to others since small decentralized hydro rarely requires transmission facilities of any magnitude.

In conclusion, I would like to state that mountainous areas with widely scattered population segments consider decentralized hydro an idea whose time has come. Subject to the cautions given, I would recommend that it be manufactured locally whenever the above conditions can be met.

En conclusion, las áreas montañosas con segmentos de población ampliamente dispersas están listas para aceptar las pequeñas plantas hidroeléctricas descentralizadas. Conforme a las precauciones anteriormente expresadas, recomendaríamos que los equipos sean manufacturados localmente siempre y cuando las condiciones puedan ser satisfechas.



# Producción de Fertilizante Mediante Energía Hidráulica

# Fertilizer Production by Water Power

Richard W. Treharne  
Charlton K. McKibben  
Donald R. Moles

Richard W. Treharne  
Charlton K. McKibben  
Donald R. Moles

---

Se está desarrollando un proceso diseñado para producir fertilizante a base de nitrógeno usando solo aire, agua, cal y energía eléctrica obtenida de la energía del agua. El proceso se basa en la combinación del nitrógeno y oxígeno del aire para formar óxidos de nitrógeno en un arco de descarga eléctrica. Los óxidos de nitrógeno son luego capturados en agua conteniendo cal para producir nitrato de calcio como fertilizante en una solución acuática. Se está desarrollando el sistema para requerir solo la disponibilidad de los componentes y relativamente baja tecnología. A diferencia de los procesos comerciales de hoy día para la producción de fertilizantes de nitrógeno, el sistema en desarrollo no requiere gas natural ni ningún combustible de origen de fósiles.

---

---

A process under development to produce nitrogen fertilizer using only air, water, limestone and electrical energy obtained from water power was described by Dr. Richard W. Treharne. The process may be used effectively during slack-demand periods. It is based on combining the nitrogen and oxygen of air to form nitrogen oxides in an electrical arc discharge. The nitrogen oxides then are trapped in water containing limestone to produce calcium nitrate fertilizer in water solution. The system is being developed to require only readily available components and relatively low technology. Unlike present day commercial processes for the production of nitrogen fertilizer, the system being developed does not require natural gas or any other fossil fuel.

---

## Antecedentes

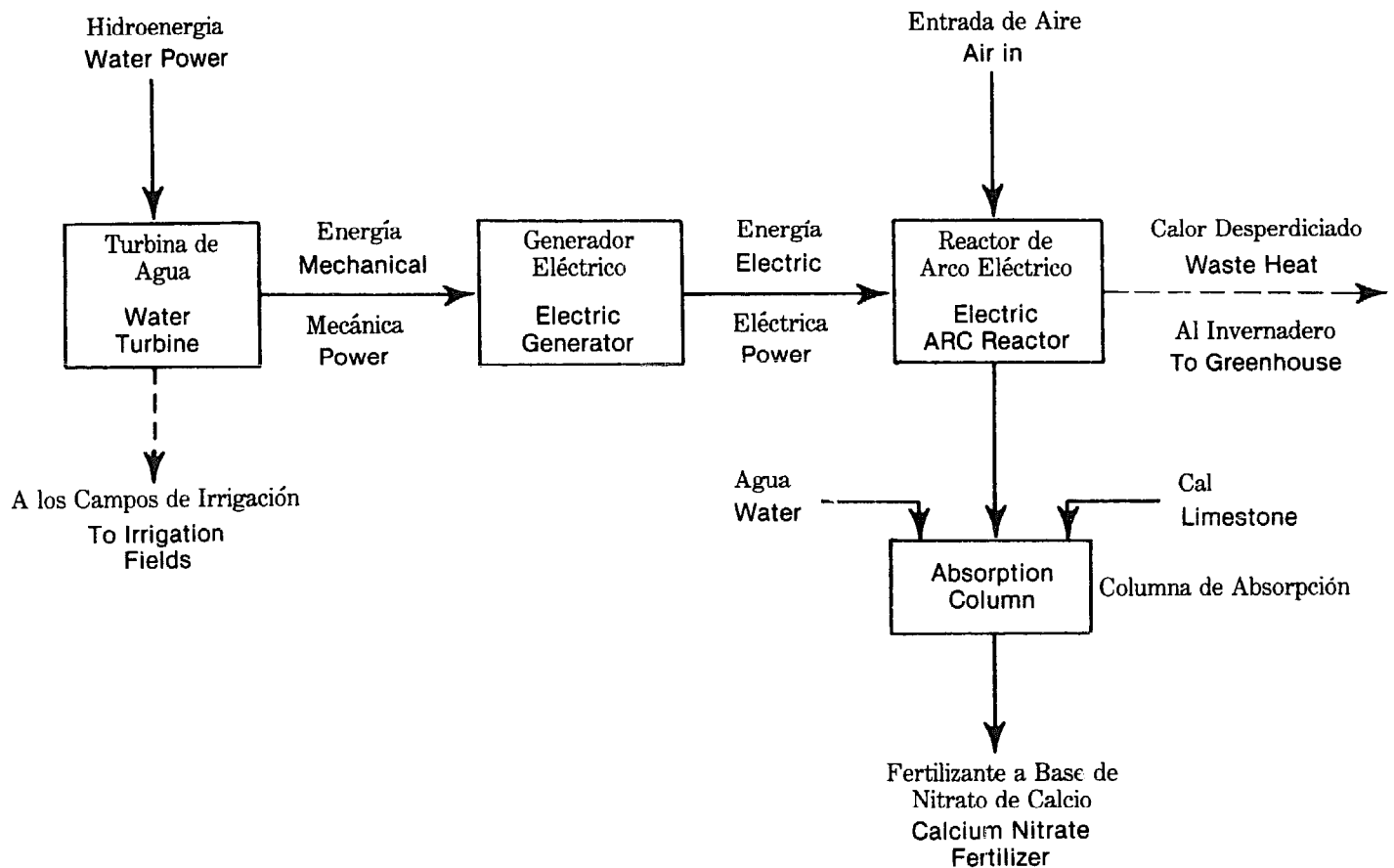
Los Laboratorios de Investigación Charles F. Kettering de Yellow Springs, Ohio, USA están desarrollando un proceso destinado a producir fertilizante de nitrógeno obtenido mediante la energía del agua usando sólo aire, agua, cal y energía eléctrica. El principio básico envuelto en el proceso en desarrollo es similar al método de la naturaleza para combinar el nitrógeno y el oxígeno del aire por medio de la descarga de un relámpago que transforma o "fija" el nitrógeno a una forma utilizable como fertilizante para las plantas. En la unidad de producción del fertilizante a base de nitrógeno que está en desarrollo, se combina el nitrógeno y el oxígeno del aire para producir óxidos de nitrógeno en una descarga de arco eléctrico, electrificada por una turbina hidroeléctrica. La Figura 1 ilustra un diagrama indicando el proceso del sistema de producción del fertilizante a base de nitrógeno.

El proceso esquematizado en la Figura 1 es una forma modificada de un proceso de arco eléctrico<sup>1,2</sup> usado comercialmente en gran escala com-

## Background

A process designed to produce nitrogen fertilizer using only air, water, limestone and electrical energy obtained from water power is being developed by the Charles F. Kettering Research Laboratory, Yellow Springs, Ohio, USA. The basic principle involved in the process being developed is similar to nature's way of combining the nitrogen and oxygen of air via a lightning discharge which transforms or "fixes" nitrogen into a form usable as fertilizer by plants. In the nitrogen fertilizer production unit being developed, the nitrogen and oxygen of air are combined to produce nitrogen oxides in an electric arc discharge powered by a hydro-electric turbine. A flow diagram of the nitrogen fertilizer production system is shown in Figure 1.

The process outlined in Figure 1 is a modified form of an electric arc process<sup>1,2</sup> used commercially on a relatively large scale in the early part of this century in several Scandinavian countries where hydro-power is abundant. The Scandina-



**Figura 1** Diagrama de un sistema hidroeléctrico de producción de fertilizante a base de nitrógeno. El sistema usa sólo aire, agua, cal y la energía eléctrica obtenida de la hidroelectricidad. Los detalles del componente del reactor de arco eléctrico se ilustran en la Figura 2.

**Figure 1** Diagram of a hydro-powered nitrogen fertilizer production system. The system uses only air, water, limestone and electrical power obtained from water power. Details of the electric arc reactor component are shown in Figure 2.

parativamente al principio del siglo en varios países escandinavos donde la hidroenergía es abundante. Los procesos escandinavos fueron abandonados hace más de cincuenta años cuando los procesos dejaron de ser competitivos con el proceso Haber-Bosch<sup>3,4</sup> que usaba el gas natural como materia prima para el proceso de producción del fertilizante en forma de amoníaco. Con el marcado aumento en el costo del gas natural durante años recientes es aparente que un proceso de arco eléctrico con diseño apropiado para la producción del fertilizante puede ser ahorra económicamente factible en ciertas areas. Por varios años, los Laboratorios de Investigación Kettering han estado desarrollando sistemas de arco eléctrico en pequeña escala para la producción del fertilizante a base de nitrógeno cerca de los lugares donde se lo necesite.<sup>5-8</sup> La producción del fertilizante a base de

vian processes were abandoned over fifty years ago when these processes ceased to be competitive with the Haber-Bosch process<sup>3,4</sup> using natural gas as a feed-stock for the process to produce nitrogen fertilizer in the form of ammonia. With the marked increase in the cost of natural gas during recent years, however, it appears that a properly designed electric arc process for fertilizer production may now be economically feasible in certain areas. For several years, the Kettering Research Laboratory has been developing small-scale, electric arc systems for the production of nitrogen fertilizer near the sites where the fertilizer is needed.<sup>5-8</sup> On-site production of nitrogen fertilizer eliminates the transportation and distribution fixed costs responsible for a large proportion of fer-

nitrógeno en el propio sitio elimina los costos fijos de transporte y distribución responsables por una gran proporción de los costos del fertilizante.

La producción del fertilizante a nitrógeno en el propio sitio también permite el uso de parte del calor desperdiciado en el proceso para otros usos de la granja así como el secado de la cosecha, calefacción del aire y agua, etc. El sistema ilustrado en el diagrama de la Fig. 1 está en plena instalación actual en una granja experimental de la Universidad de Nevada, cerca de Austin, Nevada, USA.<sup>9</sup> En esta instalación prototipo, el calor que se desperdicia será utilizado para atemperar un invernadero para extender la estación del crecimiento de las plantas.

## Arco Reactor

El núcleo del sistema de producción del fertilizante a base de nitrógeno que se está desarrollando es el reactor de arco eléctrico donde se combinan el nitrógeno y el oxígeno del aire para producir los óxidos de nitrógeno de acuerdo a las siguientes reacciones:



La reacción en dos pasos, una reacción endotérmica seguida por una reacción exotérmica que es favorecida por el rápido enfriamiento de los gases calientes, es necesaria para producir el bióxido de nitrógeno que puede ser captado en agua para formar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ). Cuando esta solución ácida se pasa a través de una columna conteniendo cal curubicada ( $\text{CaCO}_3$ ), se produce el fertilizante a base de nitrato de calcio. Alternativamente, si se pasa la solución a través de una columna de fosfato de roca, se puede producir ambos fertilizantes, el de nitrato de calcio y el de fosfato, utilizando el mismo equipo básico.<sup>10</sup>

El tipo de diseño del reactor de arco eléctrico seleccionado para nuestros estudio prototipo iniciales es una forma modificada de un reactor de arco con vortex estabilizado conforme se ilustra en una vista de corte lateral en la Figura 2. El reactor se construye comenzando con un caño standard de hierro negro con dimensiones de aproximadamente 8 cm de diámetro y 1.5 metros de largo, que sirve como un electrodo. Un segundo electrodo, consistente en una varilla de hierro solid de aproximadamente 4 cm de diámetro y 25 cm. de largo, se monta concéntricamente a trave de un aislador a un extremo del caño. Se introduce aire a trave de los puertos tangenciales de entrada al caño para crear corrientes de aire que

tilizer costs. On-site production of nitrogen fertilizer also permits use of some of the waste heat of the process for other farm uses, such as crop drying, space heating, water heating etc. The system shown in the flow diagram, Figure 1, is presently being installed on an experimental farm of the University of Nevada near Austin, Nevada, USA.<sup>9</sup> In this prototype installation, the waste heat will be used to heat a greenhouse to extend the growing season.

## Arc Reactor

The heart of the nitrogen fertilizer production system being developed is the electric arc reactor where the nitrogen and oxygen of air are combined to produce nitrogen oxides according to the following reactions:



The two step reaction, an endothermic reaction followed by an exothermic reaction that is favored by rapid quenching of the hot gases, is necessary to produce the nitrogen dioxide which may be trapped in water to form nitric ( $\text{HNO}_3$ ) and nitrous ( $\text{HNO}_2$ ) acids. When this acid solution is passed through a column containing crushed limestone ( $\text{CaCO}_3$ ), calcium nitrate fertilizer is produced. Alternatively, if the solution is passed through a column containing rock phosphate, both calcium nitrate and phosphate fertilizer may be produced using the same basic equipment.<sup>10</sup>

The type of electric arc reactor design selected for our first prototype studies is a modified form of a vortex stabilized arc reactor as shown in cross-section view in Figure 2. The reactor is constructed starting with a standard black iron pipe with dimensions of about 8 cm. diameter and 1.5 meters length which serves as one electrode. A second electrode, made from a solid iron rod of approximately 4 cm. diameter and 25 cm. length is mounted concentrically through an insulator at one end of the pipe. Air is introduced through tangential inlet ports in the pipe to create swirling eddy currents of air near the second electrode resulting in the production of a vortex-shaped arc. The action of the vortex arc creates eddies of cooler air near the walls of the pipe as well as a slight pressure gradient directed radially towards the center of the pipe, thereby tending to constrain the arc path along the axis of the

giren en remolino cerca del segundo electrodo resultando en la producción de un arco en forma de vortex. La acción del arco con vortex crea remolinos de aire más frío cerca de las paredes del caño así como también una ligera presión gradiente dirigida radialmente hacia el centro del caño, en consecuencia tiende a constringir el curso del arco a lo largo del eje del caño. Durante la operación, ese curso contiene un "nucleo" estable que es un plasma a alta temperatura relativamente constante (2000°C) donde se forman los óxidos de nitrógeno. Este tipo de reactor de arco eléctrico es capaz de producir hasta 18 gramos de nitrógeno fijo por kilovatio hora de energía eléctrica aplicada. O, en otros términos, una tonelada métrica de nitrógeno fijo puede ser producida por una energía eléctrica de 50,000 kilovatio horas.

## Fuente de Energía

La energía para propulsar nuestra primera unidad a hidroelectricidad diseñada para producir el fertilizante de nitrógeno será obtenida de una pequeña corriente de agua con alta caída. Aproximadamente 100 metros de caída con un nivel de flujo de más o menos 500 litros por minuto mueven las ruedas de una turbina Pelton acoplada al generador que suministra energía al reactor de arco. En operación, el reactor de arco eléctrico requiere alto voltaje (como 1000 voltios) y una corriente de algún tipo que limite la capacidad ya que un arco eléctrico por lo general tiende a exhibir características de resistencia negativa. El alto voltaje necesario puede ser obtenido por voltajes de energía convencional (normalmente 120 a 240 voltios a.c.) mediante el uso de un transformador de incremento con resistencia u otros tipos de características que limiten la corriente. La unidad de producción de fertilizante a base de nitrógeno puede ser idealmente adaptable para uso de la capacidad energética fuera de las horas de uso máximo de cualquier sistema hidroeléctrico. Si la capacidad energética fuera de las horas de uso máximo, que con frecuencia es desperdiciada, fuera utilizada para aplicaciones tales como la producción del fertilizante a base de nitrógeno, se realizaría el valor económico global de un sistema hidroeléctrico.

Nuestra primera unidad hidroeléctrica que al presente está en período de prueba de operación en el campo es una unidad de 3 kilowatts en la cual se suministra al reactor de arco aproximadamente 1000 voltios a 3 amperios. Esta unidad, aunque relativamente pequeña, es capaz de satisfacer la demanda total de fertilizante a base de nitrógeno

pipe. During operation, this pathway contains a stable "core" that is a relatively undisturbed high temperature (>2000°C) plasma where nitrogen oxides are formed. This type of electric arc reactor is capable of producing up to 18 grams of fixed nitrogen per kilowatt-hour of input electrical energy. Or, in other terms, one metric ton of fixed nitrogen can be produced by 50,000 kilowatt-hours of electrical energy.

## Power Source

Power to drive our first hydro powered unit designed to produce nitrogen fertilizer will be obtained from a small stream, high-head water source. About 100 meters head with a flow rate of about 500 liters per minute drives a Pelton wheel turbine coupled to the generator supplying power to the arc reactor. In operation, the electric arc reactor requires high voltage (about 1000 volts) and some type of current limiting capability since an electric arc generally tends to exhibit negative resistance characteristics. The necessary high voltage may be obtained from conventional utility power voltages (normally 120 to 240 volt a.c.) by using a step-up transformer with a ballast or other types of current limiting feature. The nitrogen fertilizer production unit may be ideally adaptable for off-peak use of electrical energy from any hydroelectric system. If the off-peak power capability of a hydroelectric system, which often is wasted, is used for applications such as the production of nitrogen fertilizer, the overall economics of a hydro-power system can be enhanced.

Our first hydro powered unit presently being field tested is a 3 kilowatt unit in which about 1000 volts at 3 amperes is supplied to the arc reactor. This unit, although relatively small, is capable of supplying all of the nitrogen fertilizer needs of from 5 to 20 hectares, depending upon the amount of fertilizer applied per hectare.

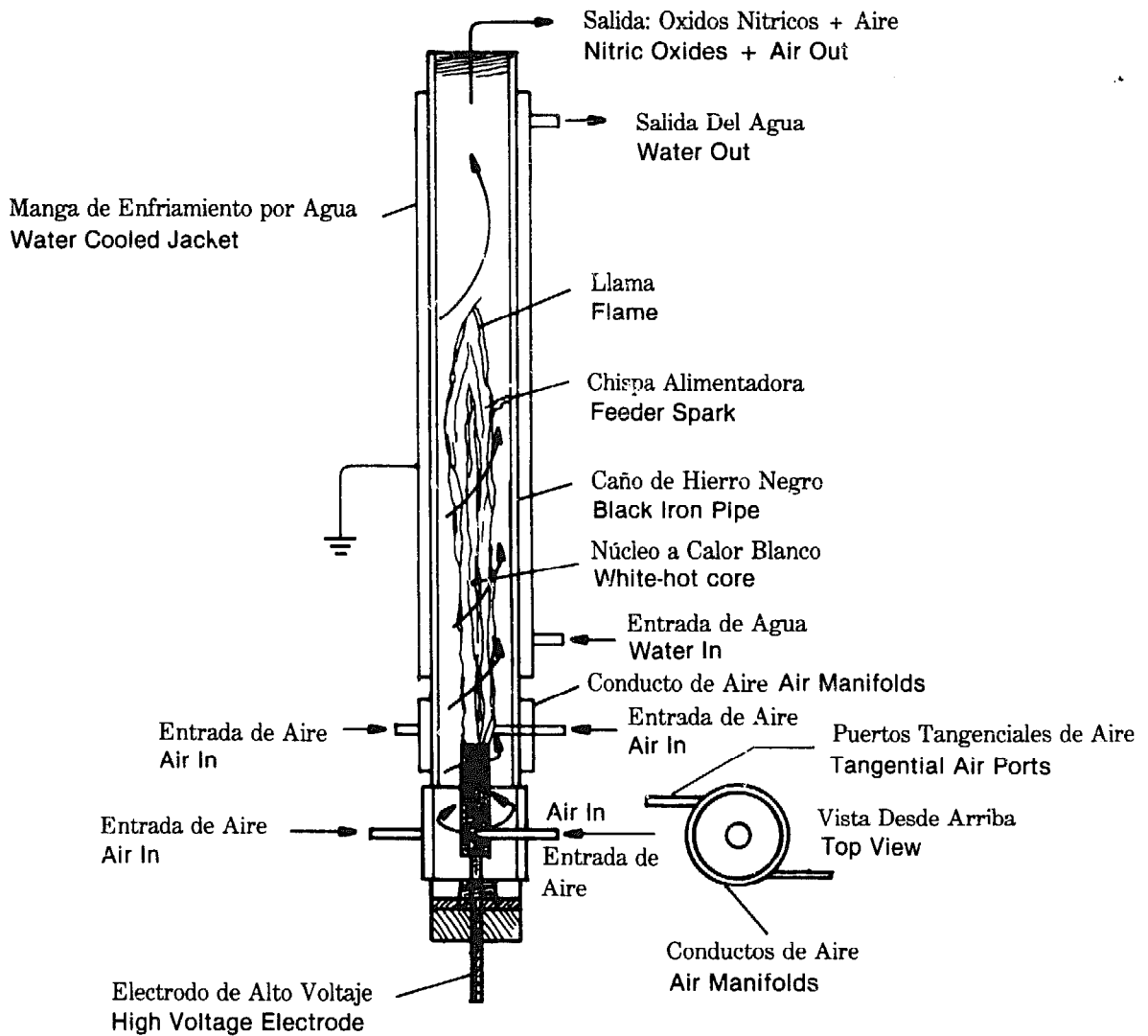
In addition to hydropower, any renewable energy source can be used to power the nitrogen fertilizer production system. A solar powered<sup>11</sup> and a wind powered<sup>12</sup> system currently also are being developed.





para un área de 5 a 20 hectáreas, dependiendo de la cantidad de fertilizante aplicado por hectárea.

Además de la hidroelectricidad, se puede utilizar cualquier fuente de energía renovable para dar energía al sistema de producción del fertilizante a base de nitrógeno. Un sistema operado con energía solar<sup>11</sup> y un sistema con energía eólica<sup>12</sup> también están corrientemente en pleno periodo de desarrollo.



Corte Seccional de Vista Lateral  
Cross-Section Side View

**Figura 2. Detalles del reactor de arco eléctrico componente del sistema hidroeléctrico de producción del fertilizante a nitrógeno de la Figura 1. Se construye un reactor de 3 kilowatts utilizando un caño de hierro de como 8 centímetros de diámetro y 1.5 metros de longitud.**

**Figure 2. Details of the electric arc reactor component of the hydro-powered nitrogen fertilizer production system of Figure 1. A 3 kilowatt reactor is constructed from an iron pipe about 8 centimeters in diameter and 1.5 meter in length.**

## References

1. Schonherr, O., "Über die Fabrickation des Luftsalpeter noch dem Verfahren des Bodescher Anilind und Sodafabrik," ELECTROTECH. ZEIT. 16, 365 (1909).
2. Waesser, B., *The Atmospheric Nitrogen Industry*. Vols. I and II, P. Blackeston's Son Co., Philadelphia (1926).
3. Efraim, F., *Inorganic Chemistry*, Sixth Edition, Oxygen Compounds of Nitrogens, Chapter XXIV, Interscience Publishers Inc., New York (1954).
4. Safrany, D.R., "Nitrogen Fixation", SCIENTIFIC AMERICAN 231, 4 (1974).
5. R.W. Treharne and C.K. McKibben, "Methods and Apparatus for Production and Application of Nitrogen Fertilizer", U.S. Patent #4,010,897 (1977).
6. R.W. Treharne, D.R. Moles, M.R. Bruce and C.K. McKibben, "A Nitrogen Fertilizer Generator for Farm Use", C.F. Kettering Research Laboratory, Technical Note #1 (1978). Also published in Proceedings of East-West Center I.N.P.U.T.S. Conference (1978).
7. R.W. Treharne, D.R. Moles, M.R. Bruce and C.K. McKibben, "Non-Conventional Manufacture of Chemical Fertilizer: Small-Scale Fertilizer Production Technology". Proceedings of East-West Center "Fertilizer Flows" Conference, Honolulu, Hawaii (1979).
8. R.W. Treharne, C.K. McKibben, D.R. Moles and M.R. Bruce, "Arc Reactor Device", U.S. Patent Pending (1980).
9. R.W. Treharne, C.K. McKibben, D.R. Moles, D. Torell, "Fertilizer Production by Water Power", University of Nevada Field Day Program (1980).
10. R.P. Sheldon and R.W. Treharne, "Local Phosphate Rock and Limestone Deposits as Raw Materials for Local Fertilizer Supply". Proceedings of the United Nations U.N.I.T.A.R. Conference on "Small-Scale Mining", Jurica, Mexico (1978), McGraw-Hill Publ. (in press).
11. R.W. Treharne, D.R. Moles, M.R. Bruce, C.K. McKibben and Brad Rein, "Nitrogen Fertilizer Production by Solar Energy", Proceedings of the International Solar Energy Society Conference (1979).
12. R.W. Treharne and L. Jakeway, "Research and Development of Fertilizer Production Using Renewable Energy Sources", A.S.A.E. Pacific Region Proceedings (1980).



**Perspectivas Institucionales  
sobre el Desarrollo de Mini  
Hidroelectricidad**

**Institutional Perspectives on  
Small Hydro Development**

**4**

# Necesidades Institucionales para el Desarrollo de Microcentrales Hidráulicas

Carlos E. Quevedo

---

Se planifican los proyectos de electrificación rural del Ecuador, que emplean pequeñas centrales hidroeléctricas, en un contexto de sus relaciones institucionales a fin de poder utilizar todos los recursos disponibles para asegurar el éxito del proyecto. Carlos E. Quevedo presenta estas relaciones, destacando la distinción entre las instituciones de organización y las funcionales en el desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el Ecuador.

---

## Introducción

El presente trabajo tiene por objeto analizar los requerimientos institucionales, que sustenten la disseminación de microcentrales hidráulicas en el área rural. El trabajo se refiere particularmente a Ecuador, sin embargo, las consideraciones que se establecen, son aplicables a múltiples países en desarrollo.

## Metodología

Se establece un marco teórico, para el análisis y éste procede, a partir de la exploración de la naturaleza de las actividades que conforman el programa de desarrollo (Figura 1).

## Marco Teórico

### Consideraciones Semánticas

El termino "institución" tiene múltiples significados. En el presente trabajo se utilizarán dos de ellos, que se diferenciarán mediante los sufijos 1 y 2.

Institución 1 representa una sociedad con objetivos y normas de acción preestablecidas (institución privada, pública, etc.) y constituye un sujeto de acción.

Institución 2 representa un mecanismo operativo, usualmente intangible, y puede ser legal, contractual, técnico, etc. Ejemplos, un convenio en el que se establecen actividades por ejecutar y responsabilidades, un manual técnico de diseño, un manual de mantenimiento de una máquina, etc.

# Institutional Requirements for the Development of Microhydropower Plants

Carlos E. Quevedo

---

Rural electrification projects in Ecuador employing small hydro are planned in a context of institutional relationships to make use of all possible resources and to ensure project success. Carlos E. Quevedo presents these relationships, drawing the distinction between organizational and functional institutions that are involved in the development of small hydro in Ecuador.

---

## Introduction

The purpose of this paper is to analyze the institutional requirements which would support the dissemination of microhydropower plants in rural areas. Although the paper refers particularly to Ecuador, the premises established are applicable to other developing countries as well.

## Methodology

A theoretical framework is established for the analysis and uses as a point of departure from exploration of the nature of the activities which conform to the development program (Figure 1).

## Theoretical Framework:

### Semantic Considerations

The term "institution" has multiple definitions. In this paper we will use two of them, grouping them in subtypes 1 and 2.

Institution 1 represents a society with objectives and pre-established activity policies (private institution, public institution, etc.) and constitutes a subject of activity.

Institution 2 represents a functional mechanism, usually intangible, and may be legal, contractual, technical, etc: for example, an agreement establishing activities to be implemented, responsibilities, a maintenance manual for a machine, etc.

Macroactividad 1  
Macroactivity 1

Actividad 1.1	Activity 1.1
Actividad 1.2	Activity 1.2
Actividad 1.3	Activity 1.3

Macroactividad 2  
Macroactivity 2

Actividad 2.1	Activity 2.1
Actividad 2.2	Activity 2.2

Macroactividad 3  
Macroactivity 3

Actividad 3.1	Activity 3.1
Actividad 3.2	Activity 3.2
Actividad 3.3	Activity 3.3

-----  
-----  
-----

**Figura 1 Esquema de Actividades de un Programa de Desarrollo**  
**Figure 1 Outline of Activities in a Development Program**

### **Relación entre Actividad e Institución**

Dados los dos significados precedentes de institución, se considera que toda actividad dentro de un programa de desarrollo, está relacionada con una institución, sea ésta de tipo 1 o de tipo 2. Las relaciones que ligan actividades con instituciones son de varios tipos (Figura 2):

Relación simple: es aquella que vincula una actividad con una institución 1, en vista a que esa actividad es inherente a la naturaleza de la institución 1.

Relación 2: es aquella que vincula una actividad con una institución 2. Como la institución 2, no es un sujeto de acción, sino un enunciado de tales sujetos, (convenio) o de la manera de llevar a cabo la acción (un instructivo o guía, análogo a un programa de computación, en procesamiento de datos), la relación 2, no concluye con ésta, sino que se extiende. En el caso de que la institución 2 represente un convenio, la extensión (o extensiones) enlaza la institución 2 con la institución ejecutora, o con el individuo ejecutor. Las cadenas de relaciones, que se inician con una actividad, terminan estrictamente con un sujeto de acción, el cual puede ser una institución 1 o un individuo. Esta situación de saturación se da cuando el programa está en plena acción.

### **Relationship Between Activity and Institution**

Given the previous meanings of institution, all activities within a development program are considered to be related to an institution, be it type 1 or type 2. The relationships linking activities with institutions are also of various types (Figure 2):

Simple relationship: One that links activity with an institution 2. Since institution 2 is not a activity is inherent to the nature of the institution 1.

Relationship 2: One that links an activity with an institution 2. Since institution 2 is not a subject of activity but a list of such subjects (agreement) or of the methods to implement the activity (an instruction or guideline, similar to a computer programming in data processing), the relationship 2 does not conclude here, but goes beyond. In case institution 2 stands for an agreement, the extension (or extensions) link institution 2 with the implementing institution or with the individual who is implementing the activity. The chain of relationships which are started with an activity end invariably with a subject of activity which may be an institution 1 or an individual. This situation of saturation occurs when the program is in full implementation.

Relación 1: es aquella que enlaza instituciones 2 con instituciones 1 o con individuos ejecutores. Este tipo de relaciones son necesarias, en cadenas que contienen relaciones 2.

La presencia de una institución 2, puede resultar en la definición de nuevas actividades, que constituyen un detalle de las originales; y que originan ramificaciones de las cadenas de relaciones.

Relationship 1: One that links institutions 2 with institutions 1 or with implementing individuals. This type of relationship is necessary in chains that contain relationships 2.

The presence of an institution 2 may result in the definition of new activities which constitute a detail of the original ones and which originate branching out relationship or networks.

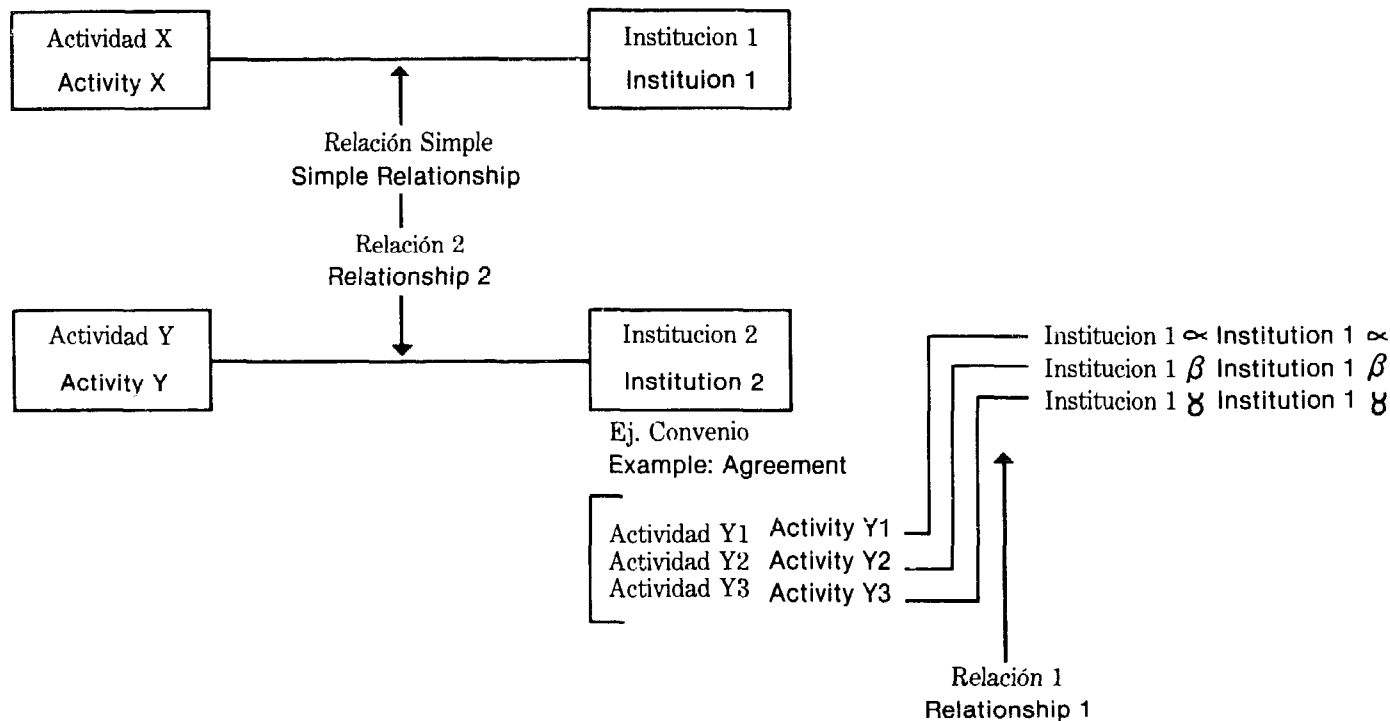


Figura 2 Tipos de Relaciones Entre Actividades e Instituciones  
Figure 2 Types of Relationships between Activities and Institutions

### Mecanismo para Creación de Cadenas Saturadas

En virtud de los conceptos esquematizados, es posible desarrollar un algoritmo capaz de generar las cadenas saturadas. Cabe notar, que el conjunto de tales cadenas constituye, precisamente, el diagnóstico de las necesidades institucionales del programa de desarrollo, pues éste contiene el listado, de todas las instituciones, de tipo 1 y tipo 2, que sustentan el programa. Es importante notar que el problema no tendría una solución única, probablemente existe una multitud de configuraciones alternativas, en base a las cuales puede desarrollarse el programa, de ahí que es preciso establecer criterios de restricción y de preferencia, en base a los cuales se limite el espacio de las configuraciones admisibles y se provea una guía para el diseño de una solución adecuada.

### Mechanism to Create Saturated Chains

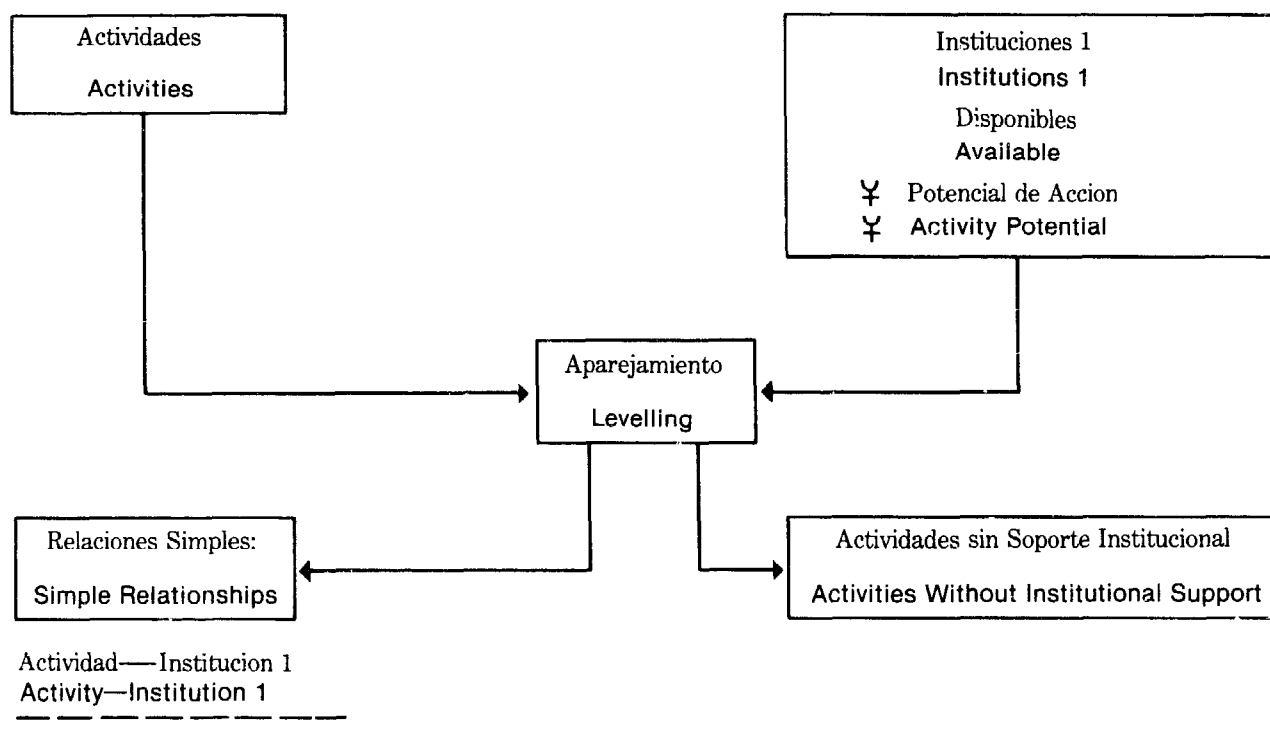
In line with the concepts outlined, it is possible to develop an algorithm capable of generating saturated chains. It may be noted that the sum total of such chains constitutes the diagnostic of the institutional needs of the program under development. It contains the list of all the institutions of both types 1 and 2 that support the program. It is important to note that there is no one specialties, philosophy, geographic coverage, bability is that there are a multitude of alternative configurations upon which the program could be developed. Henceforth, the necessity is to establish criteria of restriction and preference to limit the admissable configurations and to provide a guide for designing an adequate solution.

La formación de relaciones simples (actividad-institución 1), como respuesta a las necesidades de acción, corresponde al concepto de percepción, en el ser humano; establecido por Heri Bergson.<sup>1</sup>

El algoritmo (Figura 3), tiene dos fuentes de información, una, el conjunto de actividades, involucradas en el programa, y otra, el conjunto de instituciones 1, que incluye, la descripción de sus objetivos, competencia, actividades, especialidad, filosofía, esfera geográfica, recursos, experiencia, etc.; potenciales ejecutoras de las actividades.

The formation of simple relationships (activity — institution 1) in response to action needs corresponds to the concept of perception in the human being, as established by Heri Bergson.<sup>1</sup>

The algorithm (Figure 3) has two sources of information: one, the sum total of activities involved in the program; and the other, the list of all the institutions 1, which include the description of objectives, competence, activities, specialties, philosophy, geographic coverage, resources, experience and executive potentials of the activities.



**Figura 3 Algoritmo de Generacion de Relaciones Simples**  
**Figure 3 Simple Relationships Generation's Algorithm**

El algoritmo, dado un patrón de asignación, establecería relaciones simples, entre actividades e instituciones 1; y determinaría también, las actividades huérfanas de instituciones 1. Siguiendo el modelo propuesto, y suponiendo que el conjunto de instituciones 1 disponibles, es completo, las actividades huérfanas, mantendrán relaciones con instituciones 2, aún no determinadas. La identificación de tales instituciones puede llevarse a cabo mediante un autómata más complejo, que maneje una base de datos más amplia, que incluye entre otras, la tipificación de las instituciones 2. Una forma,

Given a pattern of assignment, the algorithm would establish simple relationships between activities and institutions 1 and would also determine activities not related to institutions 1. Following the proposed model and assuming that the list of available institutions 1 is complete, the activities not related to institutions 1 will maintain relations with institutions 2, still undetermined. The identification of such institutions can be made through a more complex automatic which could handle a vast data base. This would include, among other things, identification of in-

mecánicamente más simple, constituye el análisis interactivo, mediante la intervención humana en la determinación de las instituciones 2.

Es interesante notar, que dentro del modelo desarrollado, la identificación y creación de actividades 2, constituye a su vez actividad, o más precisamente, meta-actividad, que forma parte de la función de *coordinación*, durante la etapa de programación.

El resultado de la meta-actividad indicada, es la extensión de las cadenas de relaciones, que constituyen el programa; mediante la inclusión de instituciones 2. La continuación de las cadenas, mediante el enlace de instituciones 1 o individuos ejecutores, a las instituciones 2, puede efectuarse algorítmicamente, con una base adecuada de información.

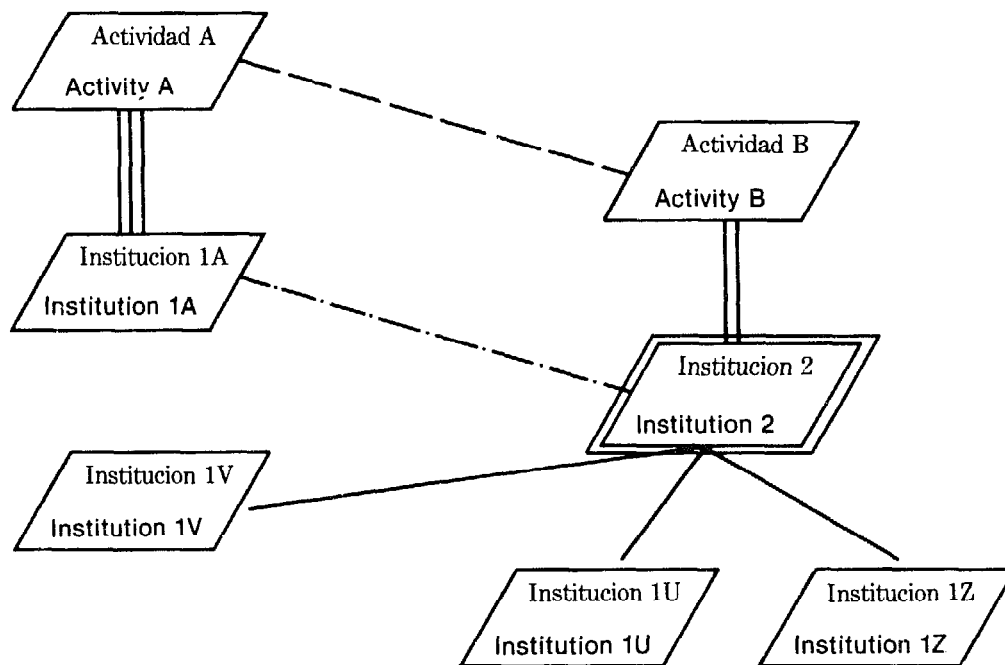
La consideración del mecanismo presentado, es didáctica, en el presente contexto, por dos motivos, primero, destaca la naturaleza diferente de los dos componentes institucionales, dentro del sistema de soporte de un programa. Gráficamente, puede representarse como nodos, a las instituciones, 1 y segmentos, a las instituciones 2, conformando una red (Figura 4). Segundo, propone un modelo, esquemático, del proceso de análisis del diseño institucional de un programa, como base para la discusión de alternativas.

stitutions 2. A more simple form constitutes an analysis of human interactions to identify institutions 2.

It is noteworthy that identification and creation of activities 2 also constitute an activity, or more precisely, a meta-activity. This is part of the coordination function during the programming phase.

The result of the meta-activity described is the branching out of relationship chains, which constitute the program, through inclusion of institutions 2. The continuation of the chains by linking institutions 1 or implementing individuals to institutions 2 can be performed algorithmically, if there is an adequate data base.

Consideration of the mechanics presented is didactic for two reasons: first, the nature of the differences between the two institutional components is highlighted within the support system of a program. Graphically institutions 1 may be represented as nodes and institutions 2 as segments, constituting a grid (Figure 4); second, it proposes a schematic model of the analysis process for institutional design of a program as an alternative discussion base.



**Figura 4 Red Institucional**  
**Figure 4 Institutional Network**



El modelo contiene premisas, entre las que se destacan las siguientes:

- Se dispone de una infraestructura institucional, aunque incompleta (conjunto de instituciones 1 y 2, que se proveen para la operación del algoritmo y del coordinador), utilizable en el programa, en forma compartida. Este concepto es afín con los conceptos de organización de Peter Drucker.<sup>2</sup>
- La infraestructura es dispersa y consta de elementos identificables (cada institución 1 y 2, disponible).
- La coordinación de los elementos es factible, con miras al desarrollo del programa. El concepto intuitivo de coordinación, equivale al establecimiento de instituciones como vínculo, entre actividades e instituciones 1, en el modelo.

## **El Programa de Microcentrales Hidráulicas**

### **Objetivo y Envoltentes Políticas**

El objeto del desarrollo de microcentrales hidráulicas constituye la diseminación de tales unidades, en el área rural, a fin de producir energía eléctrica, con dos fines fundamentales:

- El mejoramiento de la productividad rural, mediante el servicio eléctrico, en actividades y procesos, donde se hace necesaria y en otros, en que resulta competitiva con otras fuentes renovables. Las aplicaciones principales, en base a la experiencia en otros países en desarrollo, son la irrigación y el procesamiento de productos agrícolas.<sup>3</sup>
- El mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del área rural a través del establecimiento, o mejoramiento, de servicios públicos, tales como salud, educación, comunicación, etc., y de las condiciones individuales del hogar, particularmente, en iluminación.

El desarrollo integrado, supone que las acciones sectoriales armonizan con el resto, y desbordan su efecto sectorial. En tales condiciones, los vínculos más significativos del presente programa, se refieren al desarrollo tecnológico e industrial y al desarrollo comunitario.

El esfuerzo del desarrollo técnico industrial, requiere la definición de políticas que institucionalicen tanto la investigación, conducente a la optimización de los diseños, normalización, procedimientos de fabricación, así como el fortalecimiento y financiación de empresas de producción y mantenimiento de equipos, de diversas escalas y con una distribución, geográficamente descentralizadas, coincidente con la política de creación de polos de desarrollo industrial.<sup>4</sup>

The model is based on premises such as the following:

- An Institutional infrastructure, though incomplete, is available on a sharing base (list of institutions 1 and 2, provided for the operation of the algorithm and the coordinator). This is in line with Peter Drucker's Organizational Concepts<sup>2</sup>.
- The infrastructure is widespread and it contains identifiable elements (each available institution 1 and 2).
- Coordination of the elements is feasible and in line with program development. The intuitive concept of coordination is equivalent to the establishment of institutions 2 as links between activities and institutions 1 as described in the model.

## **Microhydropower Plant Program**

### **Objectives and Politics Involved**

The purpose of the development of microhydroelectric plants is the dissemination of such units to provide electric power with two main objectives:

- Improvement of the rural productivity by means of electrification of activities and processes where necessary and, in other cases, where the results are competitive with other renewable sources. The main applications, based on the experience of other countries undergoing development, are irrigation and processing of agricultural products.<sup>3</sup>
- Improvement of the quality of life of the rural population by means of the establishment or improvement of public services to influence sanitation, education, communication, etc., and improve the living conditions within the home, principally, illumination.

An integrated development presupposes that the sector activities harmonize with the rest and that the effects go beyond the sector. In such conditions, the most significant relationships are those with the technical and industrial development sector as well as the community development.

The technical industrial development requires political definitions to institutionalize both the research conducive to optimizing designs, standardization, manufacturing procedures, as well as the support and financing of production enter-

La institucionalización de los mecanismos de operación y mantenimiento de las centrales, debe ayudar al desarrollo comunitario, que constituye un elemento esencial en la política del Gobierno Nacional,<sup>4</sup> mediante un diseño que promueva el equilibrio entre la autogestión comunitaria, a través de la cual ésta toma mayor responsabilidad en el manejo de sus asuntos y el apoyo técnico, financiero y empresarial de organismos extracomunitarios.

Las políticas mencionadas, constituyen, instituciones 2, dentro del modelo desarrollado en este trabajo.

### **Macroactividades**

El modelo desarrollado, por razones de simplicidad, no tomó en consideración, la posible estructura de las actividades que constituyen el programa. En el programa presente, se reconocen dos motivos de estructurar las actividades. Uno, la existencia de relaciones de precedencia e incidencia<sup>5</sup> entre las actividades, que se expresan comúnmente en las redes PERT o CPM, y otro, la insuficiencia de información, que hace necesaria la experimentación, a fin de perfeccionar los patrones de asignación de relaciones (actividad-institución 1). Las actividades que conforman la experimentación, establecen relaciones de precedencia respecto de otras actividades del programa.

La estructuración de las actividades, interviene en cuanto se considera la cronología del programa, o sea, en cuanto se incorpora la variable tiempo.

En vista a las condiciones mencionadas, se propone un desarrollo, cronológicamente, creciente de la red institucional, ya que algunos de los enlaces, dependerán de los resultados de las actividades experimentales, las cuales están soportadas por las porciones "antiguas" de la red.

Las macroactividades, que conforman el programa de desarrollo de microcentrales hidráulicas, se ilustran esquemáticamente, en la fig. 5. Estas son las siguientes:

1. Estudios generales e inicio de la red institucional.
2. Construcción de un pequeño número de plantas piloto.
3. Creación y perfeccionamiento del Sistema, mediante refinamiento de los estudios, investigación y desarrollo tecnológico, ingenieril, industrial, institucional. Elaboración y/o adopción de metodologías normalizadas para la diseminación masiva de las centrales.
4. Diseminación de microcentrales hidráulicas.

prises and maintenance of varied scale equipment and with a geographically decentralized distribution, in line with the policies of creating industrial development poles.<sup>4</sup>

The institutionalization of the operation and maintenance mechanisms of these plants should assist in community development. This constitutes a focal point of the national government policies<sup>4</sup> through a design to promote balance between the community self-development effort — so that the community takes more responsibility in the management of its own business — and the technical, financial, and entrepreneurial support of extra-community organizations.

The policies, as mentioned, constitute institutions 2 within the framework of the model developed for this paper.

### **Macroactivities**

For simplicity's sake, the model developed does not take into consideration the possible structure of the activities which constitute the program. In the present program, two reasons for structuring the activities are recognized: (1) the existence of relationships of precedence and incidence<sup>5</sup> between the activities which are commonly expressed in PERT or CPM charts; and (2) the insufficiency of information which calls for experimentation to perfect the pattern of relationships (activity-institution 1). The activities which conform to the experimentation establish precedence relationships to other activities of the program. Structuring of the activities intervenes as soon as the time variable is incorporated.

In view of the conditions mentioned, a development is proposed to increase the institutional network since some of the relationships will depend upon the results of the experimental activities supported by the "old" portions of the network.

The macroactivities which conform to the microhydropower plant development program are illustrated graphically in fig. 5. They are as follows:

1. General study and initial institutional network.
2. Construction of a small number of pilot plants.
3. Creation and refining of the system through continuation of the studies, research and technical development, engineering, industrial and institutional development.

## Objeto, Relaciones y Contenido de las Macroactividades

La primera macroactividad, tiene por objeto establecer la información básica, determinar los parámetros generales y proveer el impulso inicial al programa. Estas acciones alimentan las macroactividades 2 y 3. Las actividades principales, que comprende la macro 1, son las siguientes:

- Determinación preliminar general de sitios, la cual a su vez envuelve las siguientes:
  - Identificación de comunidades rurales que no estarán servidas por las redes eléctricas (interconectada ni regional).  
Diagnóstico preliminar del potencial hidroeléctrico de las cuencas pequeñas.
  - Determinación tentativa de sitios, a nivel nacional.
- Requerimientos eléctricos de los principales proyectos de desarrollo rural.
- Determinación de la capacidad institucional nacional, para el desarrollo del programa.

Diagnóstico global de la magnitud del programa, de diseminación masiva de microcentrales hidráulicas: población total atendida, número de comunidades y unidades, potencial total por instalarse, tipos, costos, mercado potencial para la producción nacional, etc.

- Identificación de las instituciones 1 participantes inicialmente, y establecimiento de los vínculos (instituciones 2).

La segunda macroactividad, aunque servirá las necesidades y programas de ciertas comunidades; tiene por objeto principal, la experimentación, en el campo, de los sistemas de microgeneración, en sus múltiples dimensiones, desde las técnicas hasta las comunales, incluyendo las de utilización y aporte, de la generación eléctrica a la economía y al nivel de vida rural. Los proyectos utilizarán la información que genera la macroactividad 1, conforme se encuentre disponible. Paralelamente se iniciará la macroactividad 3, la cual también usará la información disponible y la irá perfeccionando. Como indican las flechas en la Figura 5, las macroactividades 2 y 3 se retroalimentan mutuamente. En cuanto la 3 genera información, ésta es evaluada por los ejecutores de la 2, en cuanto a su aplicabilidad en la construcción y organización de los proyectos. A su vez, los datos experimentales de los proyectos pilotos, servirán para depurar las metodologías y acciones que se desarrollan a través de 3.

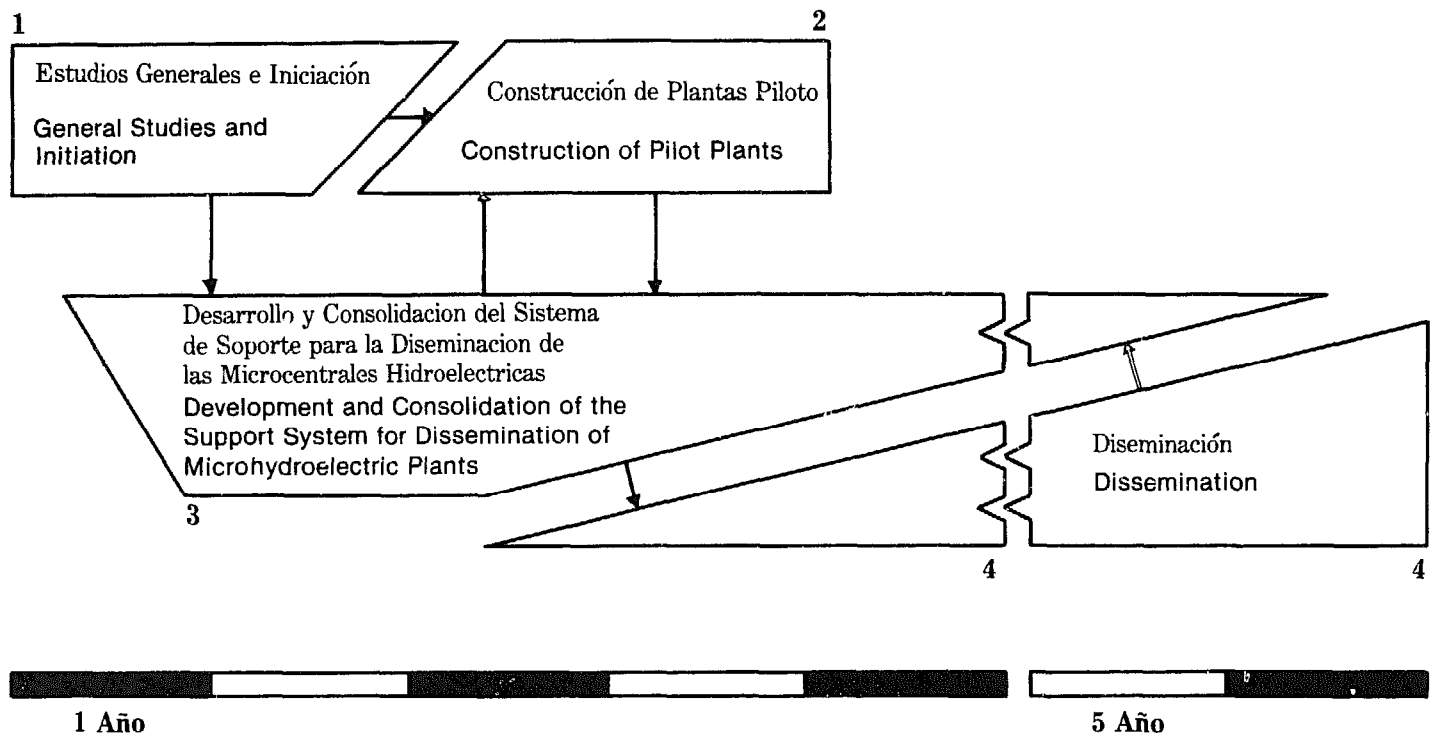
Design and/or adoption of standardized methodology for massive dissemination of hydropower plants.

### 4. Dissemination of microhydropower plants.

**Objective, Relationships and Content of the Macroactivities:** The first macroactivity has the purpose of establishing the data base, to determine the parameters in general and provide the initial impetus to the program. These activities feed macroactivities 2 and 3. The main activities comprising macro 1 are as follows:

- Preliminary determination of general sites which, in turn, involve the following:
  - Identification of rural communities not being served by the present electric grids (either interconnected or regional).
  - Preliminary diagnosis of the hydropower potential of small river basins
  - Tentative determination of sites at national level.
- Determination of the electrical demand by the main rural developments projects.
- Determination of the national institutional capability for development of the program.
- Overall diagnosis of the magnitude of the dissemination program of microhydropower plants: total number of population served, number of communities and units, potential overall installations, types, costs, potential market for domestic production, etc.
- Identification of institutions 1 that would participate initially and the establishment of relationships (institutions 2).

The second macroactivity, even though it will serve the needs and programs of certain communities, has as a main objective experimentation in the field of micro-generation systems, in their multiple dimensions form technical to community, including uses and financial benefits of electrification to the economy and quality of life in the rural environment. The projects will use the data-base generated in macroactivity 1 as it becomes available. In a parallel form, macroactivity 3 will be initiated and it will also use the information available and refine it. As indicated by the arrows in Figure 5, macroactivities 2 and 3 are feeding each other. As soon as macro 3 generates information, this is evaluated by the staff of macro 2 in terms of applicability in the construction and organization of the projects. The experimental data provided by the pilot pro-



**Figura 5 Macroactividades del Programa de Microcentrales Hidroeléctricas**  
**Figure 5 Macroactivities of the Program of MicroHydroelectric Plants**

El Instituto Nacional de Energía, desarrolló una metodología de planificación para la ejecución de proyectos pilotos, la cual ha sido discutida con múltiples instituciones y personas, nacionales y extranjeras.

La tercera macroactividad 3, constituye el núcleo del programa, a través de ella toma forma el sistema que llevará a cabo la diseminación, en gran escala, de la microgeneración hidráulica. Las actividades precedentes, constituyen solamente soportes para la ejecución de ésta. Entre las actividades principales, están las siguientes:

- Investigación y desarrollo tecnológico, que incluye:
  - Diseño de componentes (turbinas, generadores, etc.).
  - Experimentación.
  - Tipificación de diseños.
  - Desarrollo de procesos de fabricación.
  - Estudios de pre y de factibilidad industrial.
  - Promoción y financiación de empresas de producción, mantenimiento y reparación.
- Desarrollo y/o adopción de metodologías normalizadas para:
  - Establecimiento de las prioridades de los proyectos de microcentrales.

jects will be useful to “debug” the methodologies and activities developed through macro 3.

The National Institute of Energy developed a planning methodology for the implementation of pilot projects which has been discussed with numerous institutions and individuals, national and foreign.

Macroactivity 3 constitutes the nucleus of the program. Through it the system will be structured to implement the large scale dissemination of micro-hydropower generation. The preceding activities constitute support for this implementation. Some of the main activities are as follows:

- Research and technological development including:
  - Component design (turbines, generators, etc.)
  - Experimentation
  - Identification of designs
  - Development of manufacturing processes.
  - Industrial pre-feasibility and feasibility studies
  - Promotion and financing for production, maintenance and repair enterprises

- Estimación de la demanda.
- Diseño de las obras, selección de componentes, construcción e instalación.
- Organización de la operación y mantenimiento, con intervención directa de los usuarios y con soportes opcionales, de organismos extracomunales.
- Financiamiento.
- Evaluación y adaptación del sistema.

- Complementación de las instituciones 1 y 2, de soporte.

Durante todas las fases de desarrollo del programa, tienen lugar acciones de planificación, coordinación, evaluación y realimentación.

La cuarta macroactividad, de diseminación, corresponde a la operación del sistema, creado a través de la macroactividad 3. La capacidad de funcionamiento del sistema se manifiesta poco después de iniciada la macroactividad 3 y va ampliándose, paulatinamente, conforme se perfecciona. La diseminación provee canales, que retroalimentan y ajustan al sistema. Los actores principales del proceso de diseminación están descentralizados, de acuerdo a los lineamientos de la Política de Desarrollo Rural del Plan Nacional de Desarrollo.<sup>6</sup>

### Instituciones 1

La diversidad de actividades del programa, (esquemáticamente indicadas), la dispersión geográfica de las obras y la filosofía del Plan Nacional de Desarrollo; requieren de la participación de gran número de instituciones 1. Las principales instituciones 1, clasificadas, de acuerdo a su función principal o ramo de actividades, se indican a continuación:

Coordinación y desarrollo energético centralizado y descentralizado:	I.N.E.
Desarrollo y explotación de sistemas eléctricos:	INECEL, Empresas Eléctricas.
Tecnología:	Politécnicas. Consultoras. Proveedores de Equipo. Industriales Nacionales. Organismos técnicos y de asistencia extranjeros.
Ingeniería y construcción:	Consultoras, constructoras, pobladores, rurales (mingas).

- Development and/or adoption of standard methodologies for:
  - Prioritizing microhydroprojects
  - Demand estimation
  - Design of civil works, selection of components, construction and installation.
  - Organization of operation and maintenance, with direct intervention of consumers and optional support by extra-community organizations.
  - Financing
  - Evaluation and adaptation of the system.
- Supplemental support for institutions 1 and 2.

Planning, coordination, evaluation and realigning activities take place during all phases of the program development.

Macroactivity 4, that of dissemination, is a function of the system created through macroactivity 3. The functional capacity of the system is manifested slightly after initiation of macroactivity 3 and it expands gradually as it is being refined. Dissemination provides canals that produce feedback and adjust the system. The main implementing agents in the dissemination process are decentralized in line with the policies of the National Plan for Development of Rural Electrification.<sup>6</sup>

### Institutions 1

The diversity of activities of the program, as indicated in the design, the wide spread geographical location of the civil works and the philosophy of the National Development Plan, all require the participation of a great number of institutions 1. The main institutions 1, classified in terms of their main function or type of activities are indicated below:

Coordinación and development of centralized and decentralized energy:	I.N.E.
Development and exploitation of electrical systems:	INECEL, Electrical Enterprises
Technology:	Polytechnical Consulting Equipment Providers Local Industries Technical organization and foreign assistance

Desarrollo rural: CONADE.  
Instituciones públicas y privadas con esa finalidad. Entidades regionales, seccionales y locales. Comunidades rurales.

Financieras: FONAPRE.  
FONADE.  
B.N.F.  
Estado y Entidades seccionales. Bancos y Organismos Extranjeros especializados.

Información Hidrológica: INAMHI.  
M.A.G.  
INERHI.

Engineering and construction: Consultants, constructing organizations rural populations (mingas)

Rural development: CONADE  
Public and private institutions devoted to it  
Regional, sectional and local entities  
Rural communities

Financial: FONAPRE  
FONADE  
B.N.F.  
State and Sectional Entities  
Banks and specialized foreign organizations

Hydrological information: INAMHI  
M.A.G., INERHI

### Inicio de la Red Institucional

Desde un punto de vista pragmático y menos especulativo, es significativo destacar el desarrollo actual de la red institucional. El programa se encuentra en la macroactividad 1.

Las instituciones 1 directamente involucradas y que han desplegado acciones tanto técnicas como de desarrollo institucional, son: INE, INECEL, E.P.N., Asistencia técnica extranjera. I.N.E. ha actuado como promotor y ha propuesto convenios y proyectos para el desarrollo del programa, aparte de dirigir actividades técnicas. En particular, propuso y se firmó un convenio con la E.P.N. (institución 2), propuso un convenio a INECEL, que fue aceptado; ha propuesto proyectos específicos dentro del programa, a organismos extranjeros, entre otros A.I.D., bajo cuyo auspicio se desarrolla el presente seminario. También se han realizado aproximaciones y se discuten condiciones de colaboración con Instituciones promotoras del desarrollo rural como FODERUMA, y con depositarias de información, respecto a microcentrales, como el PRONAREG del Ministerio de Agricultura y el INERHI. Utilizando información de los dos tipos de Instituciones, el I.N.E., junto con técnicos de la E.P.N., estudia el potencial hidrológico, así como las necesidades eléctricas y prioridades de varios proyectos de desarrollo rural. INECEL lleva a cabo un inventario técnico de centrales fuera de uso. Se acaba de conformar una comisión permanente de coordinación del programa con personal técnico de I.N.E. y de la Dirección de Planificación de INECEL. Está en progreso una encuesta, contratada con consultores privados

### Initiation of the Institutional Network

From a pragmatic and less speculative point of view, it is important to point out how the actual institutional network develops. The program is in macro-activity 1.


Institutions 1 which have already been directly involved in activities both technical in nature and related to institutional development are: INE, INECEL, E.P.N. and foreign technical assistance. I.N.E. has participated as promoter, has designed project proposals for the development of the program, and has directed technical activities. Specifically, it presented a proposal which was signed with E.P.N. (institution 2); proposed an agreement with INECEL which was accepted; presented proposals for specific projects within the program to foreign organizations, some of which were presented to A.I.D. It has also established contacts and, at present, there are negotiations underway for cooperation with institutions promoting rural development such as FODERUMA. It has also contacted organizations to obtain information regarding microhydropower plants such as PRONAREG from the Agricultural Department and INERHI.

Using information provided by both types of institutions, INE in conjunction with EPN performs hydrologic studies, as well as determines potential rural electrification needs and the priorities of diverse development projects. INECEL is taking a technical inventory of plants that are not in

nacionales, para detectar el potencial institucional nacional, para el desarrollo de microcentrales y de otras fuentes alternas de energía.

El presente seminario - taller, aparte de su aporte técnico, es una excelente oportunidad para detectar nuevas capacidades institucionales e intereses, que permitan ampliar y refinar el sistema de soporte del programa.


## Conclusiones

1. Se ha desarrollado un modelo teórico, que permite diagnosticar las necesidades institucionales de un programa, como el presente, de microcentrales hidráulicas.
  2. El modelo permitió destacar la naturaleza dispersa e interconectada de la red institucional.
  3. Un componente esencial de la red constituyen las instituciones 2, que proveen los vínculos y la especificación de las actividades, de allí que el desarrollo institucional no consiste tanto en crear unidades administrativas (instituciones 1), sino en identificar el potencial de las existentes y en establecer los enlaces y en asignar roles y actividades, a través del establecimiento de instituciones 2.
  4. Dado la naturaleza del programa y del sistema de soporte, un componente indispensable, es la experimentación, cuyos resultados constituyen no sólo la base del diseño de los sistemas de microgeneración hidráulica sino, la guía para el desarrollo paulatino y sostenido del sistema institucional de soporte.
  5. Dados los objetivos de desarrollo integral, propuestos por el Plan Nacional de Desarrollo, cada programa no sólo debe satisfacer sus metas específicas sino, procurar el refuerzo de otros programas. El presente programa, tiene relaciones particularmente importantes con el desarrollo de la comunidad, con el industrial y con el tecnológico.
- 

use. A permanent commission has just been formed to coordinate the program and it consists of technical staff from INE and the Planning Division of INECCEL.

Under contract with local private consultants, a survey is in progress to determine the national institutional potential for the development of microhydropower plants and other alternative sources of energy. This conference-workshop, in addition to its technical contribution, is an excellent opportunity to determine new institutional capabilities and interests to permit expansion and refinement of the support system for the program.

## Conclusions

1. A theoretical model has been developed to permit diagnosis of the institutional needs of a program such as the present one for microhydropower plants.
  2. The model points out the widespread and interconnected nature of the institutional network.
  3. An essential component of the institutional network consists of institutions 2 which provide the links and specifications of the activities. Therefore, the institutional development consists not just of creating administrative units (institutions 1), but of identifying the potential available and establishing the interconnections and assigning roles and activities through the establishment of institutions 2.
  4. Given the nature of the program and its support system, an indispensable component is experimentation which results in the base for design of microhydropower systems and guidance for the progressive development of institutional support systems.
  5. Given the objectives of integral development proposed by the National Development Plan, each program must satisfy its specific objectives and at the same time should provide reinforcement for other programs. The microhydropower program has particularly important relationships with community development, industrial development and technological development.
- 

## References

1. H. Bergson, "Matiere et Memoire", Librairie Felix Alcan, Paris, 1896.
2. P. Drucker, *The Practice of Management*, Harper & Row, New York, 1954.
3. Advanced Technology Laboratories, General Electric Corporation, "Analysis of Demand for Electric Power in Rural Communities," 1963.
4. Jaime Roldos Aguilera Esq.: Presidencial Message, Quito, August 10, 1980.
5. Borje Longefors, "Theory of Information Systems," Lund, Sweden.
6. National Development Plan, Part II, volume 2, p. 13.



# El Programa de Microcentrales Hidroeléctricas en el Ecuador

Leoncio Galarza

---

Leoncio Galarza presenta el caso de la necesidad de una planificación comprensiva social e institucional como parte integral de cualquier programa de pequeñas centrales de hidroeléctricidad. El Ecuador lo esta ejecutando mediante la concatenación de los aspectos tecnológicos a las características locales de la comunidad e institucionalización de tanto esfuerzo nacional como fuere posible.

---

## Introducción

La problemática de la planificación energética involucra aspectos de naturaleza diversa que en su conjunto permiten introducir una racionalidad, coherente con la realidad de cada región, en la explotación y utilización de los recursos naturales.

En el trabajo que presentamos a continuación vamos a aplicar este modelo conceptual al caso práctico del Ecuador. Nuestro estudio se refiere a una evaluación de las condiciones de desarrollo actuales así como la caracterización de las tendencias. En la segunda parte nos concentramos en la justificación de la solución propuesta: el programa de microcentrales hidroeléctricas como parte integrante del Plan Nacional de Desarrollo. Para finalizar planteamos la metodología seguida por nosotros para la implementación de este proyecto.

Evidentemente tenemos que insistir en la importancia social de un proyecto de esta naturaleza, sobre todo en una sociedad que como la ecuatoriana, cuenta con un alto porcentaje de población dispersa y marginada de los beneficios del progreso científico y técnico de la humanidad.

## Estudio de la Situación Actual y Tendencias

En el diagnóstico del sector electrificación realizado para la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo 1980-1984 se señala que la segunda fuente de energía del Ecuador constituyen los recursos hidráulicos. El potencial hidroeléctrico estimado es de 22000 MW de los cuales no se utilizan en la actualidad ni el 1%. En efecto la estructura de generación eléctrica no corresponde a esta potencialidad puesto que el 76% de

# Micro Hydro Powerplant Program in Ecuador

Leoncio Galarza

---

Leoncio Galarza presents the case for the need of comprehensive social and institutional planning as an integral part of any small hydro-power program. Ecuador is doing this by linking the technological aspects to local community characteristics and by institutionalizing as much national involvement as possible.

---

## Introduction

The problem of energy planning involves various diverse aspects which permit the introduction of justifications in line with the reality of each region for the exploitation and utilization of natural resources.

In this paper, we are going to apply a conceptual model in its practical application in Ecuador. Our study refers to an evaluation of the actual development conditions as well as the characterization of trends in development. In the second part, we focus on the justification of the proposed solution: the micro-hydro power program as an integral part of the National Development Plan. Finally we present the methodology used in the implementation of this project.

Obviously, we have to insist upon social impact from a project of this magnitude, especially taking into consideration that a high percentage of the Ecuadorian population is dispersed and is receiving very marginal benefits from the scientific and technical progress of humanity.

## Study of the Present Conditions and Development Trends

In an analysis of the electrification sector prepared for the National Development Plan for 1980-1984, it is stated that an alternative energy source for Ecuador is its hydraulic resources. The national hydropower potential is estimated at 22,000 MW; we are not even using 1% of this potential. In fact, the structure of power generation does not correspond to that potential since 76% of the total production is based on thermal

la producción total se hace en base a centrales térmicas y sólo el 24% proviene de los recursos hidráulicos.

"El mercado eléctrico del país, es fundamentalmente de carácter residencial, excepto las ciudades de Quito y Guayaquil en las cuales se registra un alto porcentaje de consumo industrial. Esas dos ciudades consumen el 64% de la energía total generada."<sup>1</sup>

Para el próximo quinquenio se ha fijado como objetivo la inversión de la estructura de producción eléctrica de modo que la generación térmica sirva de complemento a la hidráulica. De todas maneras, tenemos que constatar la marginalidad en que se mantiene al sector rural puesto que en los dos grandes centros urbanos: Quito y Guayaquil se consume el 64% de la Energía total generada, el 36% restante se distribuye casi en su totalidad en las otras ciudades quedando la áreas rurales sin posibilidad de servicio.

Más adelante, el Plan Nacional de Desarrollo señala que tiene como uno de sus objetivos el de "beneficiar con el servicio eléctrico a 700,000 habitantes del área rural, al término de la primera etapa del programa de electrificación rural."<sup>2</sup> El programa de electrificación rural consiste en la instalación de pequeñas centrales, subestaciones, líneas de transmisión y distribución.

"Una característica de la mayor parte de las comunidades rurales ecuatorianas, es la dispersión geográfica que impide su integración al Sistema Nacional Interconectado, acentuando aún más la marginalidad. Es evidente, por lo tanto, que en marco del desarrollo armónico de las zonas marginadas, se deben buscar soluciones locales para la provisión de energía. Una de estas soluciones concordantes con la morfología y la potencialidad hidráulica de nuestro país es la instalación de generadores hidroeléctricos que utilicen los grandes desniveles de nuestros recursos de agua en montaña (en la Sierra y en las zonas pedemontanas de la Costa y el Oriente) y de los grandes caudales en llanura."<sup>3</sup>

En el Plan Maestro de Electrificación se plantean las bases de una política de electrificación rural, cuyos puntos fundamentales son:

- i) el uso de recursos renovables como parte de los planes de desarrollo rural integral;
- ii) incorporación al servicio eléctrico de 2,000.000 de habitantes en general, de los cuales 700.00 corresponden al área rural;
- iii) desarrollo de programas e generación hidroeléctrica complementarios al Sistema Na-

generation and only 24% comes from hydraulic resources.

"The electrical market of the country is mainly of a residential character with the exception of Quito and Guayaquil where there is a high incidence of industrial use. These two cities consume 64% of the total energy generated."<sup>1</sup>

For the next five year period, an objective has been set to reverse the structure of electrical power generation so that thermal generation supplements hydropower. In any case, we need to admit that the rural sector is kept marginally developed since the two main urban centers, Quito and Guayaquil, consume 64% of the total energy generated. The remaining 36% is distributed almost in its entirety to the other towns. The rural areas are left without service.

The National Development Plan also indicates that one of its objectives is to "bring electrification to 700,000 inhabitants in the rural areas by the end of the first stage of the rural electrification program."<sup>2</sup> The rural electrification program consists of the installation of small powerplants, substations, transmission and distribution lines.

"A characteristic of the majority of the rural communities in Ecuador is that they are geographically spread in such a way as to prevent their integration into the National Interconnected System. This accentuates their marginality even more. Therefore, it is evident that within the framework for harmonious development of these marginal zones there is a need to seek local solutions to provide the needed energy. One such solution that is in line with the morphology and hydraulic potential of this country is the installation of hydropower plants to utilize the great elevation differences of our mountain water resources (in the sierras and in the foothills of the coast and in the east) and the great rivers in the plains."<sup>3</sup>

The bases for a rural electrification policy are established in the Master Plan for Rural Electrification. Fundamental points are:

- i) the use of renewable resources as part of the integral rural development plans;
- ii) provision of electrical service to a population of 2,000,000, of which 700,000 inhabitants are in the rural areas;
- iii) development of hydropower generation programs to supplement the National Interconnected System with hydropower plants of lesser installed capacity.

cional Interconectado, con centrales hidroeléctricas de menor potencia instalada.

La concordancia de propósitos entre el Gobierno Central e INECEL es evidente, lo cual es muestra de la voluntad nacional de mejorar las condiciones de vida de los amplios sectores de la población marginados desde épocas inmemoriales.

## La Solución Propuesta

La situación descrita en el párrafo anterior obliga a reflexionar sobre las soluciones que deben aportarse para superar estas condiciones de marginalidad de esas amplias zonas rurales. Hemos anotado anteriormente que uno de los problemas que se plantean es el de la dispersión geográfica de la población; otro problema que debe ser enfrentado es el de la falta de planes de desarrollo de las comunidades. Dada la gran potencialidad hidráulica del Ecuador, y considerando las características de nuestros cursos de agua, la solución más apta para las condiciones reales del país es la de aprovechar de manera integral los recursos hidráulicos, acción que en el campo energético significa la instalación de centrales hidroeléctricas menores.

Como decíamos en la introducción, esta solución es de interés social. Su conveniencia no puede ser evaluada según los parámetros económicos tradicionales sino con métodos que tengan en cuenta los imponderables sociales que del programa se desprenden.

## Metodología

Las circunstancias ecuatorianas han determinado que el programa de micro y mini centrales hidroeléctricas sea concebido en dos bloques fundamentales:

- Programa de nuevas instalaciones
- Proyecto de reubicación

La puesta en funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado ha dado lugar a que un sinnúmero de instalaciones pequeñas que poseían de energía eléctrica a poblaciones, comunidades e industrias, queden fuera de uso. En muchos casos los equipos se encuentran en buen estado y en otros, con ligeras reparaciones se los puede dejar aptos para funcionar. Al mismo tiempo existen puntos de demanda no satisfecha y que pueden ser abastecidos por estos equipos en desuso actualmente, razón por la cual se ha previsto la reubicación de los mismos.

La metodología para planificar este bloque del programa difiere muy poco de la que hemos adoptado en el caso de las nuevas instalaciones. La única etapa

Obviously there is agreement between the Central Government and INECEL confirming the national objective to improve the conditions of life for the vast sectors of the population who have been left on the margins of development from time immemorial.

## Proposed Solution

The situation described above forces us to reflect on the options available to overcome this condition of marginality affecting vast rural zones. As was mentioned before, one of the problems is the geographic dispersion of the population. Another problem to be confronted is the lack of community development plans. Taking into consideration the great hydraulic potential of Ecuador and the characteristics of streams, the most viable solution is to take advantage of the hydraulic resources in an integrated manner. In the area of energy, this translates into the installation of small hydropower plants.

As we pointed out in the introduction, this solution is of social interest. To evaluate it, we cannot use the traditional economic parameters, but need to utilize modern methods taking into consideration the qualitative social impacts involved.

## Methodology

The Ecuadorian situation determines that the micro hydropower program be conceived in two main parts:

- New installations programs
- Relocation projects

With the advent of the National Interconnected System, a great number of small powerplants which used to supply energy to villages, communities and industry, have gone out of use. In many cases, the equipment is in good condition, and in others it may be retrofitted with light repair. At the same time, there are other places without electric service. That need could be satisfied by the use of equipment not in operation at present. For this reason, relocation projects are included in the Plan.

The planning for relocation projects differs very little from the one for new installations. The only additional stage is the identification of equipment, evaluation of its operating condition and matching it with energy demands as well as the natural characteristics of the candidate sites. Moreover, the program will be completed in two stages: first, a pilot project to acquire ex-

adicional a cumplir ha sido la de identificación de los equipos, evaluación de su estado y la compaginación con requerimientos de energía y con las condiciones naturales de los sitios de probable implementación.

Señalamos además que el programa será cumplido en dos etapas: primero un plan piloto que nos permita adquirir experiencia y luego un plan a nivel general como parte integrante del programa de electrificación rural.

El esquema de la metodología es el de la Figura 1, en el cual distinguimos cuatro partes fundamentales: investigación preliminar, investigación técnica, realización y evaluación. Pasemos a explicar un poco más detenidamente cada uno de estos aspectos:

### **Investigación Preliminar**

En esta fase, tres son los factores preponderantes: los usuarios, el recurso y los equipos. El objetivo de estos estudios preliminares es el de definir los criterios de afectación de los trabajos en función de las características de los factores antes mencionados. En la primera etapa, de identificación, se trata únicamente de reconocer los usuarios potenciales, la presencia de recursos y la disponibilidad de equipos. La segunda etapa es ya una de recopilación y organización de la información. En general, en el país existe información más o menos fiable pero que se encuentra diseminada en varias instituciones y organismos de carácter público y privado. Es necesario recoger esa información, sistematizarla y volverle ápta para los usos requeridos. A nivel de los usuarios, dos son los tipos de programas que nos interesan: los de desarrollo regional y los de desarrollo de las zonas rurales marginales, y es que nuestro objetivo no es el de extraer simplemente energía en los sitios donde existan los recursos, sino que esta electricidad debe tener objetivos sociales y económicos concordantes con el desarrollo y el mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad. Es así como la formulación de una política de explotación racional de los recursos naturales tiene que basarse en el análisis del sistema socio-económico-ambiental de la comunidad, sin perder de vista los objetivos de servicio y de mejoramiento de las condiciones de vida.

De la misma manera que para los usuarios, la información sobre los recursos se encuentra dispersa.

En el Ecuador existe un problema institucional que consiste en la duplicación de esfuerzos: no es raro el caso en que varias instituciones trabajan sobre un mismo sujeto, con las mismas metodologías y persiguiendo los mismos objetivos. Esto dificulta la labor de recopilación de la información, pues algunas veces

perience and then expansion as an integrated part of the rural electrification program.

The flow chart for the methodology is shown in Figure 1, where we see four main parts: preliminary study, technical research, implementation, and evaluation.

### **Preliminary Study**

In this phase, there are three primary factors: the consumers, the resources and the equipment. The purpose of the preliminary study is to define the criteria that will affect the work as a function of the characteristics of the factors mentioned above. In the first stage, identification, we figure out the potential consumers, the existing resources and the availability of equipment.

The second stage is the review and organization of the information gathered. In general, information is generally dependable, but it is spread among institutions and organizations both private and public. It is necessary to gather this information and organize it in a systematic way to make it usable for the required purposes.

At the level of the consumer, we are interested in two types of programs: regional development and development of the marginal rural zones. It is not our purpose to simply generate energy at the places where resources exist. The energy generated should serve a social and economic objective in line with the development and improvement of living conditions in the community. In this manner, the politics of rational exploitation of natural resources are based on an analysis of the socio-economic-environmental systems of the community, taking into consideration the objectives of service and improvement of living conditions. Information relating to resources is gathered in the same way as information regarding consumers.

In Ecuador there is an institutional problem: duplication of effort. It is not uncommon to find several institutions working on the same subject with similar methodologies and pursuing the same objectives. This makes the information gathering task somewhat difficult because sometimes the data is guarded by some functionaries as institutional property. On occasion, several months have gone by before we could obtain required data. The type of information we had requested was the hydrological and meteorological data for several regions.

As we mentioned previously, the program has been divided in two parts: (1) relocation and (2)

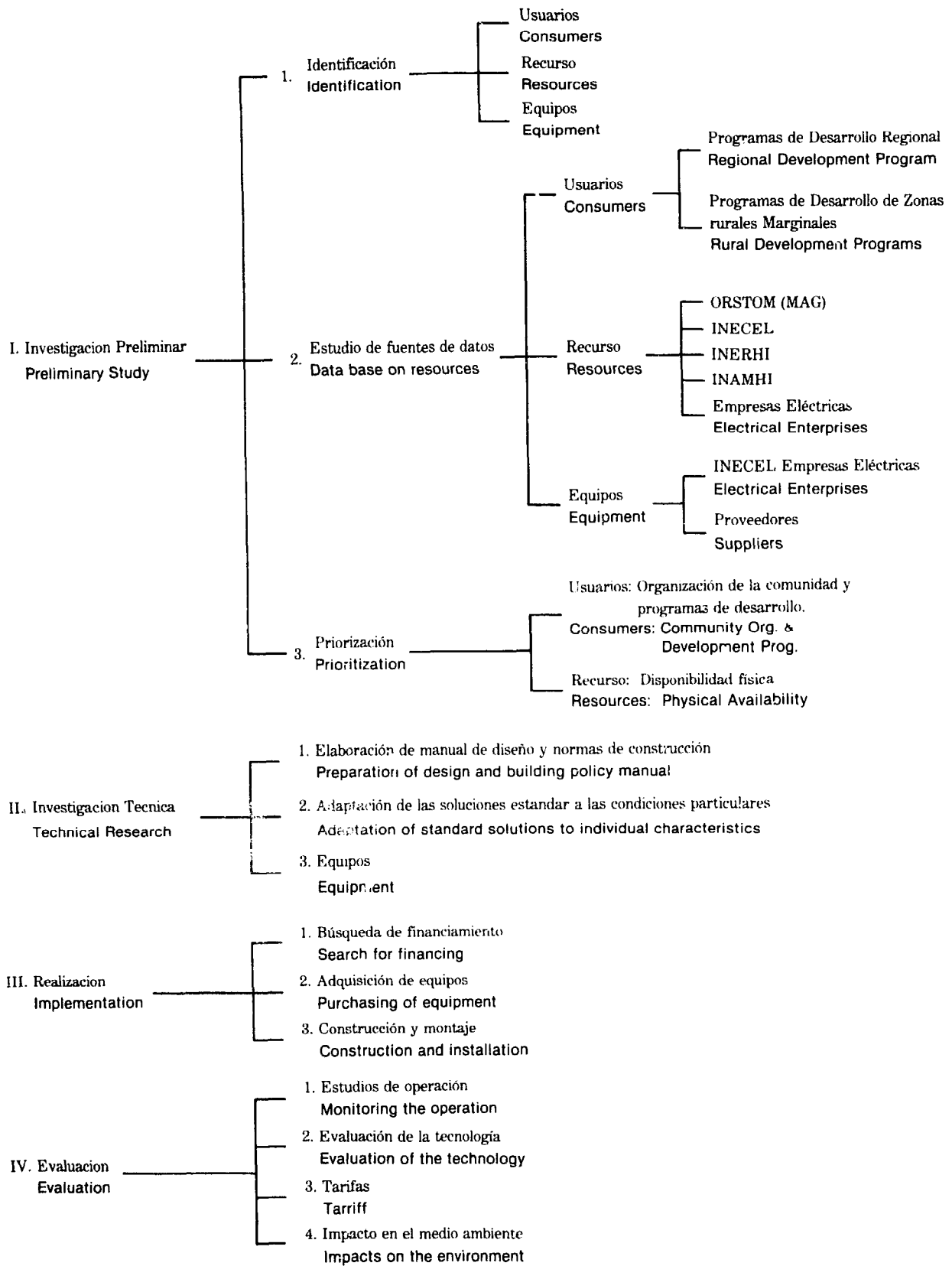


Figura 1

ella está en manos de funcionarios celosos de la propiedad institucional. En nuestro caso, varios meses han transcurrido antes de poder disponer de la información básica, la misma que debemos elaborarla para poder utilizarla. El tipo de información que hemos requerido es la correspondiente a la hidrológica y meteorológica de las diversas regiones.

Como lo hemos anotado anteriormente, el programa ha sido dividido en un bloque de reubicación y otro de instalación de nuevas centrales. En el un caso ha sido necesario realizar una encuesta para determinar las características de los equipos existentes, trabajo que ha sido realizado por la División de Electrificación Rural de INECEL; en el otro, de las nuevas centrales, hemos recurrido a los fabricantes y proveedores de equipos.

El problem álgido de esta fase de investigación preliminar es el de la definición de prioridades. Evidentemente, la demanda de servicio es mayor que la capacidad física y económica del programa, motivo por el cual ha sido necesario establecer criterios que ayuden a la selección de los proyectos que serán atendidos. Desde el punto de vista de los usuarios exigimos la implementación de una organización de la comunidad y la formulación de programas de desarrollo. Estas exigencias nuestras deben incidir inclusive en la modificación de comportamientos sociales pues los dirigentes y líderes de las comunidades deberán pensar en proponer programas completos de trabajo y comprometerse a llevarlos a cabo cuando cuenten con el poder de decisión que lo permita.

El criterio en cuanto al recurso se refiere consiste en la verificación de la existencia del mínimo indispensable para llevar a cabo las necesidades programadas.

## **Investigación Técnica**

La secuencia lógica de la etapa anterior, en la cual hemos definido los lugares que serán atendidos con nuestros proyectos, es la de concepción y dimensionamiento de las obras. Como primera actividad básica hemos previsto la elaboración de un manual de diseño y de normas de construcción. Nuestra idea es la de estandarizar criterios que nos permitan simplificar, de acuerdo a las características de cada proyecto, los procesos de estudio. Así, es necesario establecer una metodología de estudios de la hidrología de la zona que obedezca a las dimensiones Rural Marginal (FODERUMA) en el cual nuestra precisión de los resultados concordante con la

new installations. In the first case, we made a survey to determine the characteristics of the existing equipment. This was performed by the Rural Electrification Division of INECEL. In the other case, the new installations part of the program, we requested information from manufacturers and equipment suppliers.

A big problem encountered in the preliminary phase is the determination of priorities. Obviously, the demand for service is greater than the physical and economic capability of the program. For this reason, we established criteria to prioritize the projects selected. From the consumer standpoint, we require a community organization and a development program, including modification of social behavior. This will require that community leaders develop proposals for complete programs and commit themselves to implementation as soon as they have the means for decisionmaking.

In terms of the resources, the criterion requires the verification of minimum resources to enable implementation of the program.

## **Technical Research**

In logical sequence with the previous stage of prioritizing the projects, is the design of the installations. As a key activity, we have provided for the preparation of a design and construction manual. It is our intention to establish standard criteria to simplify the process of studying each project in line with its individual characteristics. Thus, it is necessary to establish a methodology for the hydrological study of the area in line with the characteristics of the region. This will permit a degree of accuracy in the calculations congruent with the magnitude of the installations and the quality of existing information.

It is our intention to seek an adequate technology so the engineering work may be transformed into analytical labor, disregarding the routine cases. Therefore, we need to obtain a study and design package which may contain a computer program to facilitate processing standard solutions in line with the individual characteristics of each project. The solutions should optimize the utilization of resources and be harmonious with the local infrastructure.

Another important aspect is the equipment study to define the distinction between relocation and new installations. In the relocation projects, there is a need to establish minimum investment criteria and compatibility with the demand condi-

magnitud de las obras y con la calidad de la información existente.

Es nuestro propósito el buscar una "tecnología apropiada" a las condiciones de manera que el trabajo de ingeniería se transforme en una labor de análisis, obviando hasta el máximo las rutinarias. Por esta razón nosotros debemos obtener un paquete de estudio y diseño que pueda ser procesado en computadora, con el cual la labor de adaptación de las soluciones estandar a las condiciones particulares de cada proyecto se haga en términos de la optimización de la utilización de recursos y de una concepción armoniosa de las obras de infraestructura.

El estudio de los equipos es otro de los aspectos importantes y que marca la diferenciación entre el programa de reubicación y el de instalación de nuevas centrales. En el programa de reubicación tenemos que regirnos por criterios de minimización de inversiones y de compatibilidad con las condiciones de demanda. Es fundamental el tener en cuenta que un equipo instalado en el extremo sur del país muy difícilmente podrá ser desplazado al extremo norte. También debemos prever la actitud de los propietarios de los equipos, quienes preferirán reinstalarlos en su zona de influencia antes que cederlos para otras regiones. El estudio de los equipos nuevos presenta un interés enorme a mediano plazo si consideramos que el programa de microcentrales puede generar necesidades suficientes para incentivar un cierto tipo de desarrollo industrial de producción de piezas, elementos y grupos generadores. Los resultados de este estudio deben fijar las pautas de conveniencia o no de emprender en acciones de fabricación nacional que nos permitirá el desarrollo endógeno de conocimientos y de tecnología.

## Realización

Una vez que hemos conseguido la adaptación tecnológica y la definición de la infraestructura necesarias para la implementación de los proyectos debemos pasar a la fase de realización. Requisito primordial y determinante es la disponibilidad de recursos económicos suficientes para cubrir los gastos del proyecto. La consecución de estos fondos se la puede hacer en organismos nacionales e internacionales. Los mecanismos de operación son diferentes y debemos buscar las condiciones más blandas para dichos créditos. El Banco Central del Ecuador está en capacidad de financiar este tipo de proyectos y la política que hemos seguido justamente es buscar la coordinación de acciones con el Fondo de Desarrollo

tions. It is important to consider that equipment now installed in the southern end of the country will not be easily transported to the northern end. We also need to anticipate the attitude of the equipment owners. They may prefer to reinstall them in their area of influence rather than allowing them to be moved to other regions.

The new equipment installation represents an enormous interest in the long range if we consider that the micropower program may generate enough demand to provide incentives for certain types of industrial development, such as manufacturing of parts, elements and generator groups. The results of the study should establish clear indicators of the feasibility of proceeding with domestic manufacturing. In turn, such manufacturing will permit internal development of knowledge and technology.

## Implementation

Once the decision has been made on the technology to be used and the necessary infrastructure for the implementation of the projects has been defined, we go on to the implementation phase. Sufficient economic resources should be available to cover the cost of the project. The funds may be obtained through national or international organizations. The operational mechanisms for each are different. We have to seek the best terms for such financing.

The Central Bank of Ecuador has the capability to finance this type of project. The process adopted was to coordinate with FODERUMA (Marginal Rural Development Fund) where our participation consists of technical and planning support for energy distribution in the corresponding programs. There are other regional organizations, like Provincial Councils, Regional Development Organizations like CREA, INCRAE, Pedesur, etc., who may be interested in this type of activity and whose participation would be fundamentally of a financial character.

Financial participation of international entities cannot be ignored since they constitute flexible sources of investment. In many cases, they may contribute to the development of this type of program.

Once the financial aspects are taken care of, the next phase is the purchase of the equipment. The nature of our program encourages us to look for equipment of domestic manufacture. Naturally, for the implementation of the pilot project we

Rural Maringal (FODERUMA) en el cual nuestra participación consiste en el apoyo técnico y de planificación para la penetración de la energía en los programas correspondientes. Existen otros organismos regionales, tipo Consejos Provinciales, Organismos de Desarrollo Regional (CREA, INCRAE, Pedesur, etc) que pueden interesarse a este tipo de acciones y cuya participación fundamentalmente sea de carácter financiero.

La participación financiera de entes y organismos internacionales no puede ser ignorada puesto que constituyen fuentes ágiles de inversión y que en muchos casos pueden contribuir al desarrollo de este tipo de programas.

Al disponer de los medios económicos, la próxima etapa es la adquisición de equipos. El carácter de nuestro programa nos lleva a buscar esos equipos sobretodo de fabricación nacional. Naturalmente para la implementación del plan piloto recurrimos básicamente a equipos importados que nos permitan llevar adelante un programa de investigación tecnológica. La importación de equipos deberá hacerse también cuando la capacidad nacional de producción sea insuficiente para satisfacer las demandas.

La fase de construcción y montaje sintetiza todas las actividades anteriores, y es el aspecto social el fundamental. La organización de la comunidad, como criterio de prioridad, se basa en que al convertirse en beneficiaria de las obras, el aporte de la población contribuye decisivamente a bajar los costos de construcción. Debemos también insistir en que, sobretodo en las poblaciones de la sierra, la minga comunal es una forma de trabajo que tiene profundas raíces culturales y que en base a ella se han edificado obras de relevante importancia. Esta forma de ejecución de las obras no sólo que tiene una incidencia económica sino que sirve como medio de preservación de valores culturales y costumbres que adquieren mayor importancia en presencia de una organización comunitaria. Un efecto adicional de la construcción y montaje será la posibilidad de generar mandos medios que posteriormente podrán ser utilizados en proyectos de mayor envergadura y también mano de obra calificada dentro de la misma comunidad y de las organizaciones campesinas.

En cuanto a los aspectos técnicos, el aprovechamiento del conocimiento nacional tiene que traducirse por una adaptación de la tecnología importada a nuestra realidad y por la generación endógena de tecnología apropiada según las características de cada proyecto.

basically request imported equipment to advance the technological research program. Importation of equipment should be done only when the domestic production capability is insufficient to satisfy the demand.

The construction and mounting phase synthesizes all previous activities. The fundamental focus is on the social aspects. Use of the community organization criterion is based on the premise that, since it becomes the beneficiary of the works, a contribution by the community can reduce decisively the construction costs. We have to insist on continuation of a practice, especially among the people of the sierras, of communal work that has deep cultural roots and which has resulted historically in works of great importance. This form of implementation of works has both a great economic benefit and is also a means of preserving cultural values and customs. These acquire greater relevance in the presence of a community organization. An additional effect of the construction and assembly will be the possibility of generating proposals which might be used in future projects of larger scale and also of developing high quality labor resources within the community itself.

In terms of the technical aspects, our domestic knowledge will be transformed by adaptation of the imported technologies into our national reality and the internal generation of technology adequate to the characteristics of each project.

### **Evaluation**

Within our conception of the program for micro-hydropower plants, the evaluation of the installations is highly important since it will originate the process of acquiring knowledge and development of technology. It should be noted that the operation of each one of these systems will lead us to a better understanding of the interactions between the communities and the environment in such a way as to optimize use of natural resources. Technically, evaluation of installations "in situ" would provide us with the necessary information to improve the characteristics of operation and maintenance, as well as give us the ability to provide guidelines for the development of industrial programs as intended.

A general public utility problem is that of establishing tariff rates. In other words, it is not easy to get the consumer to pay for a service he is not used to having and that is foreign to his



## Evaluación

Dentro de nuestra concepción del programa de microcentrales hidroeléctricas, la evaluación de las instalaciones es la de mayor interés ya que en ella tiene que originarse el proceso de adquisición de conocimientos y de desarrollo de tecnología. Anotemos que la operación de cada uno de los sistemas tiene que conducirnos a una mejor comprensión de las interacciones entre las comunidades y el medio ambiente de manera a optimizar la utilización de los recursos naturales. En los aspectos tecnológicos, la evaluación de las instalaciones "in situ" debe proveernos de la información necesaria para mejorar las características de operación y mantenimiento, así como también el poder orientar los programas de desarrollo industrial previstos.

Un problema general en los servicios públicos es el de tarifas. Dicho de otra manera, no es muy fácil hacer pagar al usuario por un servicio al cual no ha estado acostumbrado y que es ajeno a sus patrones de comportamiento social. Este puede ser un factor importante que debemos tener en cuenta para tratar de introducirlos en la estructura cultural del nuevo usuario sin atentar contra sus usos y costumbres.

Finalmente la experiencia de microcentrales hidráulicas tiene que permitirnos acumular información y aprender a manejar los proyectos en función de la preservación del medio ambiente. En los sistemas ecológicos extremadamente sensibles de las estribaciones de la cordillera, cualquier perturbación puede producir efectos irreversibles o de muy difícil recuperación. El impacto ambiental no sólo debe evaluarse en función de la estructura física sino también de las consecuencias que puede producirse en la cultura y en los hábitos de la población.

## Aspectos Complementarios

Definido el marco de referencia de la planificación del programa de microcentrales, pensamos en la conveniencia de comentar los mecanismos de funcionamiento del mismo.

La amplitud del problema obliga a una participación multidisciplinaria en la que deben involucrarse tanto entidades públicas como centros de educación superior. Bajo este precepto, la primera acción concreta ha sido la colaboración estrecha entre el Instituto Nacional de Energía y el Instituto Ecuatoriano de Electrificación; luego hemos buscado contactos con las universidades, principalmente con la Escuela Politécnica Nacional y la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Es digno de anotar que la falta de líneas de investigación de nuestros Centros

social behavioral patterns. This may become an important factor to consider when we are planning to introduce the service into the cultural pattern of the new consumers without disturbing their habits and customs.

Finally, experience with micro-hydropower plants will permit us to accumulate information and learn to administer projects in keeping with the preservation of the environment. In the very sensitive ecosystems in the foothills, any disturbance may produce irreversible effects or effects from which recuperation would be very difficult. The environmental impact had to be evaluated not only as a function of physical structures but also in terms of consequences that may affect the culture and the customs of the population.

## Supplementary Aspects

After defining the reference framework for planning microhydropower plants, we move on to evaluate their operation.

The magnitude of the problem demands multidisciplinary participation involving public entities as well as higher education centers. Under this precept, the first concrete action has been the close cooperation between the National Institute of Energy and the Ecuadorian Electrification Institute. Subsequently, we have sought support from the universities, mainly the National Polytechnic School and the superior Litoral Polytechnic School. It is remarkable that the lack of research direction at our higher educational centers has led to a long term waste of human and economic resources. Most of the research in question has been kept at the level of academic exercises unrelated to national reality. Therefore, we deem it important to provide guidelines through programs such as this one to guide the activities of the research centers and to include active participation by the students. Even though we are just in the initial phase of the program, the interest generated in the university circles is such that we can judge the results to be positive.

We need to remember, on the other hand, the need to develop human resources. If the communities are to benefit from the program, it is necessary for them to take responsibility for most of it. In some stages of its development, there will be a need for people with a level of knowledge and training of a very specialized nature which requires education and training of the staff.

de Educación Superior ha permitido desperdiciar por largo tiempo ingentes recursos humanos y económicos, pues la mayor parte de trabajos previos a la obtención de las investigaciones respectivas no han superado la etapa de ejercicio académicos desligados de la realidad nacional. De aquí la importancia de orientar a través de programas como el que exponemos, las actividades de los Centros de Investigación con activa participación de los estudiantes.

A pesar de encontrarnos en una fase inicial, los resultados obtenidos se los puede juzgar positivos por el interés que nuestros programas han motivado en el medio universitario.

No debemos olvidar, por otro lado, la necesidad de la formación del recurso humano. Si son las comunidades las que van a beneficiarse de este programa, es necesario que ellas mismas se responsabilicen de la mayor parte del mismo, y en ciertas etapas de su desarrollo se necesitarán personas con un nivel de conocimiento y de entrenamiento que no son los comunes, obligando de esta manera a preveer la educación de este personal.

## Conclusion

Insistimos en esta conclusión en el interés social del programa de microcentrales hidroeléctricas. Bajo esta perspectiva, la evaluación no puede realizarse bajo los análisis tradicionales de indicadores económicos pues estos pierden significación ante los logros sociales que se consiguen al integrar la energía eléctrica al aparato productivo, del cual ha estado aislado hasta la actualidad.

La naturaleza compleja de los programas de desarrollo integral exige la constitución de equipos multidisciplinarios para abordarlos de manera global, y es que, al considerar a las zonas rurales como un sistema, cada elemento tiene que cumplir su función y entre todos tienen que establecerse las relaciones armoniosas que permitan conseguir los objetivos propuestos.

Un problema fundamental es el de la transferencia de la tecnología. La necesidad de seleccionar la tecnología conveniente cobra mayor importancia cuando tenemos en cuenta la diversidad de las características de los proyectos. A la vez es indispensable el desarrollo de la tecnología apropiada para todos los niveles de ejecución de las obras: civil, mecánico y eléctrico. Cabe insistir en que sólo con una compenetración entre los ejecutores y la comunidad se puede llegar a aprovechar la experiencia de los pobladores respecto a su propio medio, experiencia que es el producto de

## Conclusion

In conclusion, we want to emphasize the social impact of the microhydropower program. With this perspective, the evaluation cannot follow the economic indicators of traditional analyses since they lose significance when we acknowledge the social impacts brought about by integration of electric power into the productive structure, from which the population has been deprived up to the present.

The complex nature of the integral development programs demands the creation of multidisciplinary teams to obtain a global approach. We have to consider the rural zones as a system where each element performs a function and there is a call for harmonious relationships among them in order to attain the proposed objectives.

A fundamental problem is the transference of technology. The need for selection of an appropriate technology takes on added importance when we take into consideration the diversity of project characteristics. It is absolutely necessary to develop adequate technology for all levels of implementation: civil, mechanical and electrical. We may point out that only with a good interface between the workers and the community may we take advantage of the knowledge gained through experience by the community. Such experience is the result of centuries of commonality of interests. The concept of appropriate technology should not be confused with simplistic methodologies, but should incorporate the best utilization and adaptation of materials and tools available in the environment where the projects are being implemented.

The main objectives of our program are those of a social character: improvement of the standard of living of rural communities and incentives for the development of domestic industry to produce the elements necessary for the implementation of microhydropower projects. This means the establishment or reinforcement of economic activities with a consequent increase in the use of national labor. An interesting process is the interinstitutional cooperation through which coordination of activities is obtained thereby preventing duplication of efforts and, at the same time, channeling the activities of the universities towards problems of national interest.

The problem is a complex one and its resolution may influence the development of the coun-

varios siglos de conjugación de intereses. El concepto de tecnología apropiada no puede ser confundido con metodologías simplistas sino como los de mejor utilización y mejor adaptación de materiales y herramientas en el medio en el que se implementen los proyectos.

Los objetivos primordiales de nuestro programa son los de carácter social; elevación del nivel de vida de las poblaciones rurales y marginales y la incentivación al desarrollo de la industria nacional para llegar a producir los elementos necesarios para la implementación de los proyectos de microcentrales. Esto significa la apertura o refuerzo de actividades económicas con el consiguiente incremento del empleo de mano de obra nacional. Un proceso interesante es el de la colaboración interinstitucional con el cual se consigue coordinar acciones y evitar la duplicación de esfuerzos a la vez que canalizar las actividades de las Universidades hacia problemas de interés nacional.

El problema es complejo y su interés de primordial importancia para el país. En el futuro será indispensable implementar las herramientas de control y análisis que permitan seguir la ejecución de los programas.

try. In the future, it will be necessary to establish controls and analysis methods to permit the implementation of these programs.



## References

1. National Development Plan, Editorial Gallocapitan, Otavalo, 1980
2. Ibid.
3. Galarza, L. and Saenz, M., Preliminary notes on the use of hydraulic resources through installation of micro hydropower plants. National Institute of Energy. August 1979.

## Tópicos Financieros

Hector Viteri

---

Después de escudriñar los registros históricos del desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el Ecuador, Hector Viteri examina las diversas estrategias que podrían utilizarse para financiar este tipo de desarrollo. El cita el costo asociado con un ejemplo de dichos proyectos. Al concluir sus puntos de vista, el Sr. Viteri puntualiza que la financiación local es una opción importante.

---

Antes de entrar a considerar algunas perspectivas de financiación para un programa de construcción de minicentrales en el Ecuador, es necesario echar una mirada retrospectiva sobre el desarrollo - de la hidroelectricidad en el Ecuador y de cómo las ideas sobre estos desarrollos han ido evolucionando con el tiempo.

La hidroelectricidad durante la década 1950-1960 tuvo como exponentes principales en su desarrollo a dos compañías de ingeniería y representaciones de equipo para centrales, una alemana y otra suiza.

El marco en el cual desarrollaron su actividad comercial y de construcción y los clientes que atendían, refleja a vivamente la falta de planificación central del desarrollo del sector eléctrico, ya - que estos constituían principalmente los Municipios de pequeñas - ciudades, todas ellas ansiosas de ver satisfecha su necesidad básica de iluminación y de abastecimiento de energía, principalmente para consumo doméstico, en la instalación de una pequeña planta hidroeléctrica, de concepción y diseño elemental, en donde lo que se pretendía era la inmediata solución del problema, mediante la utilización del recurso, sin mayores complicaciones relativas al aprovechamiento óptimo o máximo del mismo y la cobertura sistemática de la demanda eléctrica futura. Estudios de mercado, gradiente energética de los ríos, hidrología, estudios de factibilidad, rendimiento de la inversión, estudios de Costo/Beneficio etc, etc, sin lo que hoy en día ni siquiera se hablaría de decidir sobre la construcción de una planta, eran colocadas en un plano que si bien no podríamos considerarlo como de rechazo, sin embargo no eran de investigación particular, por cuanto existiendo el recurso a la vista, el problema de ingeniería era la utilización del mismo para abastecer la escasa demanda de esa década. La tasa de consumo de electricidad estaba en el orden de

## Financial Aspects

Hector Viteri

---

After reviewing the historical record of small hydro development in Ecuador, Hector Viteri examines the various strategies that may be used to finance this type of development. He cites the costs associated with a sample of projects. In concluding his remarks, Mr. Viteri points out that local financing is an important option.

---

Before considering some of the possibilities for financing a minihydropower construction program in Ecuador, it is necessary to examine retrospectively the development of hydroelectric power in Ecuador and how ideas on this development have evolved over the course of time.

Two engineering companies and powerplant equipment distributors, one German and the other Swiss, were the main vehicles for the development of hydroelectric power during the 1950-1960 decade.

The framework within which they carried out their commercial and construction activities and the clients they served reflected clearly the lack of central planning in the development of the power sector. The clients were largely small municipalities, all anxious to satisfy their basic needs for light and power supply, mainly for domestic consumption, through the installation of simply-designed and constructed small hydroelectric plants. Their goal was the immediate solution of the problem through the use of the resource, without further consideration for either optimum utilization or the systematic satisfaction of future power demand. Market studies, the power gradient of rivers, hydrology, feasibility studies, investment return, cost/benefit studies, etc., all so indispensable today when making a decision regarding the construction of a powerplant, were given an importance which, although not entirely null and void, did not result in their becoming the object of any special research. The resource was there and the engineering problem was its utilization to meet the limited demands of that decade. The rate of electricity consumption was on the order of 20-30

20 a 30 kWh por habitante y se abastecía a menos del 25% de la población total.

De esta manera las dos compañías antes mencionadas, monopolistas de este sector de la ingeniería, efectuaban contratos "Llave en mano" con los Municipios y autoridades cantonales y parroquiales y a veces autoprodutores (fábricas, haciendas, talleres, etc) para el completo suministro de equipo electro-mecánico de las centrales y la construcción de las obras civiles, que básicamente consistían en una obra de toma del río a aprovecharse, un canal de aducción (en ocasiones túnel), un tanque de presión con desarenador, una tubería de presión y la casa de máquinas.

En esta forma, sólo en esa década las dos compañías que nos ocupan construyeron 27 centrales de capacidades que variaban entre 80 y 5.200 kW y con grupos de 80 hasta 2.600 kW y con un total de 20.700 kW.

Nadie hubiera pensado que este esquema y el desarrollo de las "posibilidades a la vista" podían volver a tener actualidad en la década de 1980.

La creación de INECEL en 1961 como una entidad central de gobierno encargada del desarrollo del sector, vino a disminuir al ímpetu de la construcción de estas pequeñas centrales, bajo la promesa del abastecimiento futuro por centrales de mayor magnitud, que con el tiempo conformarían el Sistema Nacional de Interconexión, en el que por razones de racionalización generalmente se aceptan sólo centrales de cierta capacidad para el abastecimiento del sistema. Este viraje y las expectativas puestas en el nuevo gestor, INECEL, tuvieron decisivas consecuencias en la cobertura eléctrica de la década de 1960-1970:

1. INECEL empezó a planificar el aprovechamiento de los grandes recursos hidroeléctricos mediante la localización de centrales de gran capacidad.
2. las compañías que construían las centrales hidroeléctricas pequeñas prácticamente se retiraron del mercado, por cuanto el único cliente posible (INECEL), no tenía más interés en las centrales de ese tipo, debiendo anotarse que en esa década apenas se instalaron 4 centrales medianas y pequeñas con una capacidad total de 13.320 kW.
3. En cambio proliferó la construcción e instalación de centrales diesel-eléctricas de todo tipo, que llegaron a constituir la solución de abastecimiento a corto plazo, por la tardía y lenta construcción de los proyectos hidroeléctricos grandes,

kWh per person provided to less than 25 per cent of the total population.

Thus, the two companies mentioned above, virtually monopolizing this engineering sector, entered into "turn-key contracts" with the municipalities and parochial and county authorities and sometimes with private producers (factories, farms, workshops, etc.) for the total supply of the electromechanical equipment to the plants and the construction of civil works. The latter consisted basically of the construction of an intake in the river to be tapped, a diversion canal (sometimes a tunnel), a pressure tank with sand trap, a penstock and powerhouse.

In the decade of the 50's alone, the two firms in question built 27 powerplants with a capacity ranging from 80 to 5,200 kW and with groups from 80 to 2,600 kW and with a total of 20,700 kW. No one could have foreseen that this order of things and the development of the "immediate possibilities" would again become relevant in the 1980's.

With the creation of INECEL in 1961 as the central governmental agency in charge of the development of this sector, construction of these small hydroelectric plants was reduced in the understanding that future demands would be met by larger plants, which, in time, would constitute the National Interconnection System. For economic reasons, only powerplants with capacities above certain level were accepted for supplying the system. This orientation and the expectations placed in the new organization, INECEL, had significant consequences for the supply of electricity during the 1960-1970 decade.

1. INECEL started to plan for the utilization of large hydroelectric resources with the installation of large-capacity powerplants.
2. The companies constructing small hydroelectric plants practically abandoned the market since the only possible client (INECEL) was no longer interested in this type of plant. In that decade, only four medium and small power plants were installed, with total capacity of 13,320 kW.
3. On the other hand, the construction and installation of all types of diesel-electric plants prospered. They soon became the short term solution to the supply problem in view of the belated and slow construction of large hydroelectric projects, which in that

que en esta década solamente estuvieron en etapa de investigación previa y diseño. En ese tiempo todavía la crisis energética no había sucedido, de modo que el costo de operación de dichas centrales diesel todavía eran soportables.

4. Los Municipios, cantones y parroquias o sea las comunidades encargadas del bien social dejaron de preocuparse del abastecimiento de energía eléctrica y se promovió la formación de Empresas Eléctricas locales encargadas del abastecimiento y comercialización de la energía.

Con sólo dos políticas correctivas que quizá pudieron haber sido adoptadas en esa década, hubiera sido posible cambiar básicamente la situación del desarrollo del sector: a) El seguir promoviendo la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas y b) El permitir que cualquier ente organizado en beneficio de la comunidad, construya centrales hidroeléctricas bajo control y supervisión de INECEL.

En la década de 1970-1980 el problema continúa; las centrales a diesel proliferan por falta de incentivo para las pequeñas plantas hidroeléctricas; no se logra cubrir suficientemente la demanda porque la primera central hidroeléctrica del plan de INECEL se termina de construir con algunos años de retraso y todavía acontece la crisis energética mundial, lo que hace pensar seriamente en continuar construyendo centrales térmicas en base de combustible fósil de petróleo. Esta crisis por lo tanto actúa como un acicate, que quizá el mundo no pensó en que podría venir revestido de tal gravedad, a tal punto de convertir en fracaso financiero las inversiones que recientemente hicieron muchos países en centrales térmicas de combustible de petróleo.

Entonces es cuando el mundo en forma racional, retrospectivamente empieza a mirar su pasado y encontrar que a la vuelta de cada curva del riachuelo vecino, existe una posibilidad energética que puede ser aprovechada aceleradamente y desarrolla nueva tecnología para reducir los costos de manufactura del equipo, mediante la estandarización del mismo y de la construcción, mediante la simplificación de las obras civiles. Esta es la filosofía de las micro-centrales de cuya financiación y aspectos organizativos y gerenciales voy a ocuparme.

## Financiación

Continuando con la historia, las pequeñas centrales hidroeléctricas fueron financiadas básicamente en el siguiente esquema:

decade, progressed only through the research and design phases. At that time, the energy crisis had not yet arrived and consequently the cost of operating these diesel power plants was still affordable.

4. The municipalities, counties and parishes, i.e., the communities responsible for the welfare of the population, stopped worrying about the supply of electricity and promoted the establishment of local electric power companies to supply and sell power. With only two corrective policies that could perhaps have been adopted in that decade, it might have been possible to basically change the status of the development of the sector: a) Continue promoting the construction of small hydro powerplants and b) Allow any community organization to build hydropowerplants under INECEL's control and supervision.

In the 1970-1980 decade, the problem continues; diesel plants proliferate due to lack of incentives for small hydropowerplants; demand is not fully met since the first hydropowerplant in INECEL's plan has just been completed several years behind schedule and the world energy crisis still prevails. The current situation raises serious doubts as to the advisability of continuing to build thermal plants utilizing fossil oil as fuel. Consequently, the energy crisis, which apparently the world did not think would be so grave, has become such an important consideration that it has made the recent investments of many countries in thermal power plants based on oil consumption financially unprofitable.

It is at this point that the world is beginning to examine analytically its past experiences and is finding that at the bend of each nearby stream there is a power resource that can be immediately utilized. New technology is being developed to reduce equipment manufacturing costs through standardization and construction costs through the simplification of civil works. This is the philosophy underlying the micro-hydro plants with whose financing, organizational and management aspects I am going to deal.

## Financing

Continuing along historical lines, the small hydroelectric powerplants were basically financed in the following way:

- a) El equipo fué objeto de créditos del proveedor o sea se vendía a algún plazo de pago, que estaba de acuerdo a la práctica del fabricante, plazos de hasta 8 años se registran en las numerosas centrales hidroeléctricas vendidas.
- b) La obra civil estaba financiada por la misma entidad dueña de la obra (Municipio, cantón, etc) y ésta se la incluía en forma prioritaria dentro del presupuesto anual de la misma, sin embargo en ocasiones se dió el caso de que la compañía contratista del proyecto financió parcialmente la obra civil y recaudó el monto financiado con el producto de la venta de energía; o sea la comercialización de la misma estuvo en dichas oportunidades controlada por la compañía contratista, con el objeto del pagarse la inversión y esta forma de pago se la introducía dentro del contrato de construcción.

Es preciso anotar que esto era posible por el relativamente bajo costo de la obra civil, que en ese tiempo podría haber estado en el orden del 35% del costo total de la obra correspondiendo al 65% el costo del equipo.

En la década de 1960-70 con el advenimiento de INECEL, las Compañías constructoras dejaron de hacer contratos "Llave en mano," INECEL y las Empresas Eléctricas que se contituyeron en esa década, se convirtieron en las promotoras y ejecutoras de las obras, quedando las compañías aquellas, como simples vendedores del equipo de las centrales; el problema de financiación poco a poco fué absorbido por INECEL, en vista de haberse constituido en accionista de dichas Empresas, con mayor capacidad de soportar cargas financieras y obtener créditos para las obras. INECEL obtenía créditos para la financiación del equipo, sea de los mismos proveedores y en ocasiones de Gobiernos y contribuía con la contraparte en moneda local para la obra civil; las centrales luego eran operadas por las Empresas Eléctricas.

Miremos ahora, en base de esta experiencia, cuales serían las posibilidades actuales de financiar un programa de micro o pequeñas centrales hidroeléctricas.

La práctica demuestra que mientras en un gran esquema hidroeléctrico, los Bancos de Desarrollo, instituciones de fomento del crédito a las exportaciones, los mismos proveedores, tratan de financiar y obtener las mejores condiciones de financiamiento, para estas pequeñas centrales no hay tal devoción; las razones de esto pueden ser; (i) los montos a financiarse considerados individualmente pueden no ser atractivos; (ii) siendo la importancia de estas cen-

- a) The equipment was obtained through supplier credits, i.e., the supplier sold on installments according to the manufacturer's practices. Terms of up to 8 years were applied to the numerous hydroelectric plants sold.
- b) Civil works were financed by the owner of the project (municipality, county, etc.) and were included on a priority basis in the yearly budget. Nevertheless, there were sometimes cases in which the project contractor partially financed the civil works and collected the amount financed from the monies obtained from the sale of electricity. Sales were then controlled by the contracting company, with a view to recuperating its investment and this form of payment was introduced as a part of the construction contract. It should be pointed out that this was made possible by the relatively low cost of the civil works which at the time may have accounted for 35 per cent of the total cost of the works, with 65 per cent corresponding to the purchase of the equipment.

In the 1960-70 decade, with the creation of INECEL, the constructing companies stopped subscribing "turn-key" contracts. INECEL and the electric power companies established at the time became the promoters and executors of the works and the constructing companies became mere sellers of powerplant equipment. The problem of financing was gradually absorbed by INECEL since it had become a shareholder of the power companies with a greater capacity to absorb financial burdens and obtain credits for the works. INECEL obtained credits for financing the equipment, either from the suppliers themselves or, upon occasion, from other governments, and contributed the counterpart funds in local currency for the civil works. The powerplants were then operated by the electric power companies.

Based on this experience, let us examine the current possibilities for financing a program of small or micro-hydropowerplants.

Experience shows that, while development banks, export credit firms, and the suppliers themselves try to finance and obtain the best financing conditions for large hydroelectric projects, there is no such interest for small hydroelectric plants. The reasons for this lack of interest may be that 1) the amounts to be financed, individually considered, may not be attractive;

trales pequeñas, en el contexto de las obras del plan de desarrollo del país, no otorgan propaganda a las entidades financieras; (iii) en ocasiones no existen análisis de rentabilidad, beneficio & costo, etc. que las instituciones financieras requieren para probar el proyecto y justificarlo ante sus propios organismos de decisión; (iv) las entidades financieras pueden tener dudas sobre el control de la operación y de la comercialización de la planta, por su misma naturaleza de escasa contribución a la cobertura de la curva de demanda, cosa que puede incidir en la garantía que deben tener para aprobar un préstamo.

Por todas estas razones, y hasta que este programa tenga mayor acogida entre las instituciones financieras de desarrollo, creo yo que la financiación de las pequeñas centrales tiene que ser incluida dentro del tipo de financiación de ayuda de capital (asistencia financiera concesionaria) principalmente otorgada por Gobiernos bajo el marco de la Asistencia Financiera para el Desarrollo. Esta asistencia financiera en que participan los países miembros del DAC (Development Assistance Committee) y que cada día tiene la tendencia a desligar los créditos, deberá poder ser utilizada tanto para la importación del equipo, como para las obras civiles. La financiación deberá ser hecha por programas que involucren la construcción sistemática de un número de pequeñas centrales por bienio (parece ser que el período de construcción promedio de una pequeña central podría ser de esta duración), con un estricto cronograma de construcción, con el objeto de mantener el interés de los Gobiernos auspiciadores.

## **Otras Fuentes de Recursos Financieros**

A pesar de que la tendencia debe ser la de conseguir el mayor porcentaje de financiamiento para estas obras, sin embargo es posible que en ocasiones no se logre obtener sino una parte de los fondos requeridos; se debe naturalmente disponer de recursos de contrapartida locales, los cuales pueden ser generados mediante disposiciones y gravámenes, que son justificados, especialmente si se considera que estas minicentrales y de mediana capacidad van a ser principalmente instaladas en áreas rurales y por lo tanto caen dentro de programas de electrificación rural, que desde luego involucren también los sistemas de transmisión y distribución; INECEL ha desarrollado tres métodos de generación de recursos locales para estos programas.

Mediante la creación del llamado "Fondo de Electrificación Rural," que se alimenta con el 10% del valor facturado de planillas de energía eléctrica de

2) since the importance of these power plants is small, in the context of the overall country development plan, they provide little publicity for the financial organizations; 3) at times there are no investment return analyses, cost/benefit studies, etc., which the financial institutions require for the approval of the project and to justify it before their own decision makers; 4) the financial organizations may have doubts as to the control of the operation and the profitability of the plants in view of the tiny contribution they make toward covering the overall demand. This could affect the guarantee they must have for the approval of a loan.

For all these reasons, and until this problem achieves wider acceptance with the development finance institutions, I believe that small powerplant financing has to be included in the type of capital aid financing (concessionary financial assistance) granted mainly by governments within the framework of development finance assistance. This financial assistance, in which the member countries of DAC (Development Assistance Committee) participate and which shows a growing trend towards granting unconditional loans, should be used for both the importation of equipment and for the construction of civil works. The financing should be directed to programs that involve the systematic construction of a number of small powerplants per biennium (this appears to be the average construction period for a small powerplant) under a strict construction calendar, in order to maintain the interest of the sponsoring governments.

## **Other Financial Resources**

Although an attempt should be made to procure the largest possible amount of financing for these works, it is nevertheless possible that, at times, only a part of the funds required might be obtained. Naturally, there should be local counterpart funds which can be generated through laws and taxes, justified particularly since these small and medium size powerplants are usually installed in rural areas and, consequently, fall under rural electrification programs which also involve transmission and distribution systems. INECEL has developed three methods for generating local resources for these programs.

Through the creation of a so-called "Rural Electrification Fund" which is replenished with



los consumidores con tarifa comercial e industrial cuya carga instalada sea mayor de 10 kW para los industriales y el consumo mayor que 2.500 kWh por mes para los comerciantes. Esta imposición se justifica en el hecho de que los abonados industriales y comerciales utilizan la energía eléctrica para la obtención de ganancias, elaboración de productos cuyo mayor consumo se halla en las zonas urbanas y es justo contribuir por ese intermedio al desarrollo de la electrificación rural.

Una proyección de la recaudación que podría significar esta contribución para los años 1980, 1981 y 1982 son los siguientes, divididos en lo que podría recaudarse a través de las dos empresas mayores del país (QUITO Y GUAYAQUIL) y el resto del país: (cifras en US\$).

Año	Empresa Quito	Empresa Guayaquil	Resto País	Total
1980	944.899	2'130.883	1'215.410	4'291.192
1981	1'203,198	2'748.839	1'737.493	5'689.530
1982	1'537,731	3'546.002	2'508.189	7'591.422

Mediante la creación del llamado "Fondo Especial para Conexiones a Consumidores de Bajos Ingresos", que se alimenta con recursos provenientes de un diferencial de interés de préstamos externos otorgados en condiciones concesionarias por entidades financieras de desarrollo tales como el (BID), el Kredit Anstalt Bank fuer Wiederaufbau de Alemania Federal, Gobiernos, etc. y que se produce cuando estos préstamos, suscritos con el Gobierno del Ecuador, son transferidos a INECEL en condiciones de interés un poco más alto y plazo de amortización más corto, creando un fondo que básicamente puede trabajar como una fuente de préstamos, para la financiación de redes de distribución secundarias y acometidas de servicio eléctrico en zonas rurales y urbanas marginadas, e instalaciones de alumbrado público en esas mismas zonas; los préstamos de ese fondo serán hechos a las Empresas Eléctricas, pero no parece existir conflicto en otorgarlos también a otro tipo de entes administrativos que podrían establecerse para la operación de estos sistemas descentralizados de abastecimiento de energía. A su vez, estas Empresas y entes administrativos pueden otorgar préstamos a los mismos consumidores de bajos ingresos, para ayudarlos a financiar el costo de las acometidas en las casa y eventualmente las instalaciones interiores. Para el manejo de este fondo y el otorgamiento de los préstamos existe un reglamento especial.

Una proyección de las recaudaciones que se han obtenido y podrá obtenerse en los próximos 5 años

10 per cent of the invoiced value of electrical bills for commercial and industrial consumers with an installed load greater than 10 kW for industrial clients and a monthly consumption greater than 2,500 kWh for commercial clients. This tax is justified by the fact that the industrial and commercial clients utilize electric power to derive profits from processing goods largely consumed in urban areas and it is just, therefore, that they should contribute in this way to the development of rural electrification.

It is projected that for the years 1980, 1981 and 1982, this contribution could reach the amounts given below, broken down for the two main electrical enterprises in the country (Quito and Guayaquil) and the remainder of the country (in US\$).

Year	Quito Utility	Guayaquil Utility	Remainder of the Country	Total
1980	944,899	2,130,883	1,215,410	4,291,192
1981	1,203,198	2,748,839	1,737,493	5,689,530
1982	1,537,731	3,546,002	2,508,189	7,591,422

With the creation of the so-called "Special Fund for Connections for Low Income Consumers", supplied with resources coming from an interest differential of external loans granted under concessionary terms by financial development organizations such as the IDB, the Kredit Anstalt Bank fuer Wiederaufbau, of the Federal Republic of Germany, other governments, etc. The differential occurs when these loans, subscribed by the Government of Ecuador, are transferred to INECEL at a slightly higher interest rate and a slightly shorter repayment term, thus creating a fund that basically can serve as a source of loans for financing secondary distribution networks and connections for electrical service in rural and marginal urban areas and for the installation of public lighting systems in these same areas. The loans from such a fund will be made to Electric Power Enterprises, but there appears to be no conflict in also granting loans to other types of administrative organizations which may be established for the operation of these decentralized power supply systems. In turn, these enterprises and administrative organizations may grant loans to low-income consumers to help them finance the cost of electrical connections to their homes and eventually of interior installations. There is a special set of regulations

de estos diferenciales de interés, y las características de los préstamos directos y los términos de transferencia se indican a continuación: (cifras en US\$).

Año	*Préstamo Bid-411-SF/EC	**Préstamo Kreditanstalt Bank	***Préstamo Reino Unido/75	Total
1975-79	1'865.160	1 485.720	966.800	4'308.680
1980	1'133.000	601.120	436.920	2'173.090
1981	1'045.000	601.120	433.440	2'079.560
1982	957.000	601.120	411.480	1'969.600
1983	869.000	200.360	389.580	1'458.920
1984	781.000	200.300	367.600	1'348.960

**\*Préstamo Bid 411-SF/EC**

Monto: US\$ 16'500.000

Plazo: 40 años incluyendo 10 de gracia

Interés: 1% anual durante el período de gracia, 2% en adelante.

Condiciones de transferencia

Plazo: 20 años incluyendo 5 de gracia

Interés: 8% anual.

**\*\*Préstamo Kredit Anstalt Bank**

Monto: DM 20'000.00

Plazo: 30 años incluyendo 10 de gracia

Interés: 2% anual

Condiciones de transferencia

Plazo: 30 años incluyendo 10 de gracia

Interés: 8% anual

**\*\*\*Préstamo Reino Unido 1975**

Monto: Libras Esterlinas 5'100.000

Plazo: 25 años incluyendo 5 de gracia

Interés: 3% anual

Condiciones de transferencia

Plazo: 25 años incluyendo 5 de gracia

Interés: 8% anual.

Mediante un aporte de los usuarios como contribución no reembolsable, aporte que varía de región a región y que en forma gruesa se ha estimado que producirá los siguientes ingresos en los próximos tres años: (cifras en US\$).

Año	Aporte
1981	3'600.000
1982	4'800.000
1983	3'600.000

De los tres fondos antes mencionados parece que el primero podría ser el único a aplicarse como contrapartida en programas de construcción de minicentrales y centrales de pequeño tamaño, por cuanto el

for the operation of this fund and the granting of loans.

Below is a projection of the amounts collected and to be collected during the next 5 years by applying these interest differentials, followed by the characteristics of the direct loans and terms of transfer (figures in US\$):

Year	*Loan IDB 411-SF/EC	**Loan Kredit-Anstalt Bank	***Loan U.K./75	Total
1975-79	1,865,160	1,485,720	966,800	4,308,680
1980	1,133,000	601,120	436,920	2,173,090
1981	1,045,000	601,120	433,440	2,079,560
1982	957,000	601,120	411,480	1,969,600
1983	869,000	200,360	389,580	1,458,920
1984	781,000	200,300	367,600	1,348,960

**\* Loan IDB 411-SF/EC**

Amount: US\$16,500,000

Term: 40 years including 10 year grace period

Interest: 1 percent per year during the grace period, 2 percent thereafter.

Transfer terms

Term: 20 years including 5 years grace period

Interest: 8 percent per year

**\*\* Loan Kredit Anstalt Bank**

Amount: DM 20,000,000

Term: 30 years including a 10 year grace period

Interest: 2 percent per year

Transfer Terms

Term: 30 years including a 10 year grace period

Interest: 8 percent per year

**\*\*\* U.K. Loan 1975**

Amount: £5,100,000

Term: 25 years including 5 years grace period

Interest: 3 percent per year

Transfer terms

Term: 25 years including a 5 year grace period

Interest: 8 percent per year

Through a non-reimbursable consumer contribution which varies from region to region. Gross income from the contribution over the next three years has been estimated as follows (US\$):

Year	Contribution
1981	3,600,000
1982	4,800,000
1983	3,600,000

segundo es más adecuado para el desarrollo de las redes y subestaciones de los sistemas y el tercero por el hecho de ser una aportación directa del mismo consumidor, tiene psicológicamente un derecho a ser retribuido con la misma instalación de servicio que constituye algo tangible y personal.

De allí que como conclusión sobre la posibilidad de otra Fuente de Recursos Financieros, podemos advertir que para un programa de mini-centrales y de pequeño tamaño, la contraparte local a ser obtenida por métodos indirectos como los arriba indicados no parece ser suficiente, por lo que debería buscarse para este programa la máxima financiación externa tanto para el equipo, como para las obras civiles.

Para tener una idea de la magnitud del costo actual de centrales de mediano tamaño vamos a detallar a continuación las características principales y costos del equipo y obras civiles de cinco centrales que INECEL tiene en estudio preliminar, con grupos de capacidades entre 2.500 y 400 kW.

Estos costos dan un valor por kW instalado de US\$1.192; 1.466; 1.920; 2.200 y 2.700 respectivamente, lo que indica un fuerte encarecimiento de las obras conforme disminuye la capacidad de la central, advirtiéndose además que el rubro que encarece la

Of the three funds mentioned above, it appears that the first may be the only one applicable as counterpart in mini and small powerplant construction programs, since the second is more appropriate for the development of grid systems and substations, and the third, since it represents a direct contribution from the consumer, appears at least psychologically earmarked for reinvestment in the installation of services which constitute a tangible and personal benefit for the consumer.

In conclusion, as regards the possibility of using another source of financial resources for a mini and small powerplant construction program, the local counterpart obtainable through indirect methods such as those mentioned above does not appear sufficient. For this reason, maximum external financing should be sought for this program both for equipment and for civil works.

To give an idea of the magnitude of current costs of medium-sized powerplants, we detail below (Figure 1) the main characteristics and costs of equipment and civil works for five powerplants that INECEL has under preliminary consideration, with groups ranging in capacity from 400 to 2,500 kW.

Localidad Town	Macas	Tena	Pangua-El Corazon	Sucumbios	Zumba
Provincia Province	Morona-Santiago	Napo	Cotopax 1	Napo	Zamora Chincipe
Rio River	Abanico	Misa Hual LI	Angamarca	Lunbaqui	Isi Manchi
Altura Elevation	1,440 m	630 m	580 m	480 m	800 m
Caudal Desviado Diverted Flow	6.5 m <sup>3</sup> /sec.	10 m <sup>3</sup> /sec.	2 m <sup>3</sup> /sec.	1.2 m <sup>3</sup> /sec.	2.6m <sup>3</sup> /sec.
Caida Bruta Gross Head	95 m		60 m	40 m	1 x 400 kW
Capacidad Instalada Installed Capacity	2 x 2,500 kW	2 x 1,500 kW	2 x 50 kW	1 x 400 kW	
Toma Intake					
Tipo Type	Directo Direct	Dique de Desvío Diversion Dam	Vertedero Spillway	Dique de Desvío Diversion Dam	Directo Direct
Altura Height		3 m	3.5 m	2 m	
Longitud Length		140 m	18 m	25 m	
Bocatoma Entrance	4 Vanos 4 Spans	5 Vanos 5 Spans	5 Vanos 5 Spans	4 Vanos 4 Spans	
Dist. Bet. Spans Dist. Bet. Spans	2.5 m	2.8 m	1.2 m	1.2 m	

**Figura 1 Características de Algunos Proyectos Pequeños de Hidroelectricidad**  
**Figure 1 Characteristics of Some Small Hydro Projects**

Carga Hidráulica Hydraulic Load	2.5 m	0.6 m	0.4 m	0.25 m	
Desarenador Sand Trap					
No. de Camaras No. of Chambers	1	2	1	1	
Longitud Length	57 m	50 m	30 m	25.5 m	
Ancho Width	6 m	2 x 6.20 m	5 m	4 m	
Altura Height	5.5 m	4 m	2 m	1.5 m	
Canal Canal					Mamposteria Rectangular
Tipo Type	Tunel Herradura, r = 1.1 m	Revestido, Trapezoidal Lined, Trapezoid	Revestido, Trapezoidal Lined, Trapezoid	Revestido, Trapezoidal Lined, Trapezoid	Masonry, Rectangular
Sección Section (b,h, m)	Tunnel, Horseshoe	2 m, 1.95 m, 1	2 m, 1 m, 1	0.8 m, 1m, 1	1.5 m, 1.8 m
Longitud Length	207 m	1,635 m	1,950 m	1,380 m	1,500 m
Pendiente Slope	0.001	0.00042	0.0006	0.002	0.002
Antecamara Forebay					
Longitud Length		25 m	20 m		8 m
Ancho Width		5 m	4.5 m		4 m
Caida Sobre la Entrada de la Cañeria de Presión Head above Penstock Opening	4.6 m	3.6 m	0 m	2 m	2 m
No. de Compuertas No. of Gates	1 (1 x 1 m)	2(1.5 x 1.5 m)	1(0.9 x 0.9 m)	1(1.0 x 1.2 m)	1(1.0 x 1.0 m)
Cañeria de Presión Penstock					
Longitud Length	160 m	90 m	145 m	80 m	
Diametro Diameter	1 m	1.5 m	0.9 m	0.8 m	
Costo (1979 US\$) Cost					
Equipo Equipment	4,000,000	2,400,000	800,000	320,000	320,000
Obra Civil Civil Works	1,960,000	2,000,000	1,120,000	560,000	760,000
Total	5,960,000	4,400,000	1,920,000	880,000	1,080,000

obra civil principalmente es la longitud de la conducción.

En las mini-centrales o aquellas en las que se trata de aprovechamientos con obras de ingeniería civil sumamente simples y grupos de fabricación estandarizados, los costos bajan relativamente en algo; básicamente la obra consta de una toma simple, un canal de conducción, tanque de presión convencional, tubería de presión y casa de máquinas, o pequeño reservorio de carga para las turbinas tipo bulbo. Los costos tanto del equipo como de la obra civil varían,

These costs result in an installed kW value amounting to US\$1,192; 1,466; 1,920; 2,200 and 2,700 respectively, which indicate a higher cost for the civil works as the capacity of the plant drops. In addition, the item that principally increases the cost of the civil works is the length of the canal.

The costs are somewhat lower in the case of mini-powerplants, or those that utilize very simple civil engineering works and standardized manufacture groups. Basically, the works consist

especialmente de acuerdo a la característica del equipo de los diferentes fabricantes que se han especializado en la fabricación de estos grupos, como Gilbert Gilkes y Gordon Ltd., (Inglaterra), Ossberger (Alemania), Leroy Somer (Francia), Allis Chalmers (USA), debiendo advertirse que cada tipo de fabricación requiere de una obra civil típica, anotándose principalmente una diferencia de costos considerable en el equipo, cuando se tratan de grupos alojados en casas de fuerza o al aire libre; obviamente grupos de baja caída requieren cortas tuberías de presión en relación a grupos de altas caídas. Como datos informativos obtenidos de cotizaciones de equipo y obras civiles estimadas podemos citar los siguientes ejemplos: (cifras de fines de 1979).

Grupo convencional de baja caída 48 kW (6 m, 1200 lts/seg)

costo del equipo: US\$98.000

costo de la obra civil: US\$12.200

Grupo bulbo 36 kW (5.5 m. 1.100 lts/seg)

costo del equipo: US\$37.200

costo de la obra civil: US\$11.130

Grupo convencional de alta caída 32 kW, (100 m. 50 lts/seg)

costo del equipo: US\$98.640

Los costos no incluyen tubería de presión. En vista de la poca experiencia en la instalación de estos grupos en el Ecuador, los costos del equipo y de la obra civil serán objeto de un estudio y muy interesante, que desde luego debe ser tomado en cuenta antes de emprender el programa de promoción y construcción de mini-centrales. Hay que anotar sin embargo, que ahorros en los estudios, diseño de los mismos podrían estar a la vista, así como la ventaja innegable del corto período de construcción.

## El Marco Institucional

Volviendo nuevamente a la historia (década — 1950-1960), observamos que la solución local para el abastecimiento de energía por pequeñas centrales hidroeléctricas de aquellos municipios, cantones, etc., pasó a constituir responsabilidad nacional por medio de INECEL y de las empresas Eléctricas por él conformadas. Esto significó una centralización total o localizada de la generación y comercialización de la energía.

Esta centralización se facilita cuando el número de unidades de generación es manejable, pero que involucra desde este punto de vista un programa de mini-centrales o centrales de pequeña capacidad? Esto induce de nuevo a una descentralización de la

of a simple intake, a canal, a standard pressure tank, a penstock and powerhouse or a small load reservoir for bulb-type turbines. The costs of the equipment and civil works vary, particularly in accordance with the characteristics of the equipment sold by the various manufacturers specializing in the manufacture of these groups, such as Gilbert Gilkes and Gordon Ltd. (England), Ossberger (Germany), Leroy-Somer (France), Allis Chalmers (USA). It should be pointed out that each type of equipment manufacture requires a typical civil work and that large differences in the cost of the equipment depend primarily upon whether the groups are installed in powerhouses or out of doors. Obviously, low head groups require short penstocks when compared with high head groups. As informative data obtained from equipment quotations and estimated civil works costs, we may give the following examples (figures corresponding to the end of 1979).

Standard low head group — 48 kW (6m, 1200 lts per second)

Equipment cost: US\$98,000

Civil works cost: US\$12,200

Bulb Group — 36 kW (5.5m 1,100 lts per second)

Equipment cost: US\$37,200

Civil works cost: US\$11,130

Standard high head group — 32 kW (100m, 50 lts per second)

Equipment cost: US\$98,640.

These costs do not include the penstock. In view of the limited experience in installing these groups in Ecuador, the costs of the equipment and civil works should be the subject of a very interesting study. Of course, these should be taken into consideration before undertaking a mini-power plant promotion and construction program. Nevertheless, it should be emphasized that there are potential savings in the studies and design of mini-powerplants, as well as the undeniable advantage of the shorter period of construction.

## Institutional Framework

Returning again to the past (1950-1960 decade), we see that the local solution for energy supply through small hydroelectric plants in the municipalities, counties, etc., became a national responsibility entrusted to INECEL and the electric power enterprises which it created. This

generación y la promoción de autoproducción que conlleva a no considerar la generación de electricidad como un monopolio de INECEL y las Empresas Eléctricas en el sector, por cuanto la filosofía de la promoción de estas centrales está en la venta de la idea a los individuos particulares, cooperativas, fincas, comunidades, etc., etc., la mayor parte en el sector rural, que podrían, para beneficio de todos instalar estas centrales, ser dueños de las mismas y comercializar la energía generada. Este hecho podría hacer variar en algo el marco institucional en que se desarrolla actualmente el sector y vamos a ver a continuación algunas posibilidades del esquema:

1. INECEL podría ser responsable de llevar a cabo el programa financiando las obras para las Empresas Eléctricas, tal como lo ha venido haciendo; las centrales una vez construidas serían operados por las Empresas.
2. Las Empresas Eléctricas podrían buscar la financiación de las centrales utilizando su propia capacidad de endeudamiento.
3. Las comunidades beneficiarias de las centrales, como Municipios, cantones, cooperativas podrían financiar estas centrales, con lo que serían dueños de las mismas y podrían operarlas y comercializar su energía.
4. INECEL podría constituirse en un promotor financista de estas centrales, cuyos organismos ejecutores serían los Minicipios, cantones, cooperativas, etc. y su operación y la comercialización de la energía se la haría bajo estricto control de INECEL con el objeto de asegurar el servicio de la deuda, esto es, el pago de la inversión.

Todas estas alternativas a las cuales se podrían añadir algunas más, por ejemplo, la introducción de estas centrales dentro de los esquemas de desarrollo rural integrado, por ejemplo, conllevan una decisión básica, entre la centralización de la generación eléctrica en el país que actualmente, de acuerdo a la Ley Básica de electrificación (Art. No. 3) es atribución privativa del Estado a través de INECEL, o la política abierta de permitir a las entidades creadas en beneficio de la comunidad y a la Empresa privada (fincas, fábricas, etc) de convertirse en autoprodutores.

Dadas las características de pequeña magnitud de estas centrales, de su objetivo localizado y limitado y de la misma filosofía del aprovechamiento racional de energía, parece que un programa de esta naturaleza, cae además dentro del ámbito de la iniciativa local y

meant a total or localized centralization of power generation and sales.

Centralization is facilitated when the number of generating units is manageable, but what happens, in this area, with a program of mini-powerplants or small capacity plants? Such a program leads back to a decentralization of power generation and the promotion of autonomous production and away from the notion of electric power production as a monopoly of INECEL and its electric power enterprises. The philosophy underlying the promotion of these small powerplants is based on selling the idea to individuals, cooperatives, farms, communities, etc., largely in the rural sector, who could install these powerplants, own them and sell the power produced for the common good. This situation would alter somewhat the present institutional framework of the power sector. Some possibilities for this new structure are as follows:


1. INECEL could be responsible for carrying out the program, financing the works for the electric power companies, as it has been doing; the power plants, once built, should be operated by the electric power companies.
2. The electric power companies could obtain financing for the powerplants utilizing their own borrowing capacities.
3. The communities benefiting from the plants, such as the municipalities, counties, and cooperatives, could finance them and consequently own them, operate them and sell the electricity produced.
4. INECEL could become a promotor and financier of these powerplants with the municipalities, counties, cooperatives, etc. acting as administrating agencies. The operation of the plants and the sale of electricity would be carried out under the strict supervision of INECEL to guarantee the debt service i.e., the repayment of the investment.

All these alternatives, to which others could be added such as the introduction of these powerplants into integrated rural development programs, entail a basic choice between (a) centralization of electric power production in the country, which, pursuant to the Basic Electrification Law (Art. No. 3), is currently the sole responsibility of the State through INECEL, or (b) an open policy permitting organizations created to benefit the community and private industry

privada y constituye una forma de abastecimiento, que está dentro de la política actual de utilización de energía no convencional, solar, eólica, etc., por lo que una política abierta especialmente para las mini-centrales podría ser la más apropiada.

Es necesario sin embargo advertir, que este viraje en la tradicional concepción monopolística de la generación eléctrica por organismos especializados del Estado, requiere una promoción y divulgación de la tecnología que verdaderamente constituye la parte más difícil e interesante del programa, que desde luego tiene que ser de responsabilidad de estos. En la solución No. 4 INECEL por medio de su Dirección de Electrificación Rural deberá promover la construcción de estas pequeñas centrales para servicio de las localidades rurales e incitar a los dueños de fincas, pequeños artesanos, etc. a instalar mini-centrales y constituirse en autoprodutores; INECEL deberá asistir en el diseño, selección del equipo y supervisión de la construcción de las mismas y vigilar su mantenimiento y buena operación, con el objeto de que el programa funcione y no fracase por abandono de alguna planta, ante un daño fácilmente reparable o falta de repuestos; para esto la Dirección de Electrificación Rural deberá disponer de un equipo de vigilancia periódica de rutina a las centrales; sólo sobre la existencia de un cuadro de esta naturaleza, podría INECEL asegurar que la financiación hecha para estas centrales pueda ser devuelta sin contratiempos.


La financiación de INECEL podría ser otorgada a aquellos organismos que tienen que ver con el bienestar de la comunidad. Financiación para auto-producción, finqueros, fábricas, etc. por el momento no se deberá considerar. El contrato de financiamiento deberá estipular la obligatoriedad de fideicomisar los ingresos provenientes de la venta de energía, luego de deducir los gastos de mantenimiento (que son mínimos), y el derecho de INECEL para controlar la fijación de la tarifa de la venta de energía a los consumidores.



(farms, factories, etc.) to become autonomous energy producers.

In view of the small size of these powerplants, their localized and limited objectives, and the current philosophy favoring energy conservation, it seems that such a program also falls within the framework of local and private initiative and constitutes a method of supply which conforms to the present policy of utilization of non-conventional energy source, solar, wind, etc. An open policy, therefore, especially for the mini-power generating plants, appears to be the most appropriate.

Nevertheless, this change in the traditional monopolistic conception of electric power generation by specialized state agencies requires a promotion and diffusion of technology which constitutes the most difficult and interesting part of the program and which, no doubt, has to be the responsibility of these agencies. Under solution No. 4, INECEL, through its Rural Electrification Board, should promote the construction of small powerplants to serve rural communities and induce farm owners, small artisans, etc., to install mini-powerplants and to become autonomous energy producers; INECEL should assist in the design, equipment selection and supervision of the construction of these plants and monitor their maintenance and problem-free operation to insure that the program works smoothly and does not fail due to the abandonment of a powerplant because of an easily repairable breakdown or the lack of spare parts. To do this, the Rural Electrification Board should have a team to monitor the powerplants periodically and routinely. Only through such an arrangement can INECEL guarantee that the funds invested in these plants will be repaid without difficulties. INECEL financing could be granted to those organizations interested in the welfare of the community. For the time being, consideration should not be given to financing projects for autonomous production, farms, factories, etc. The financial contract should stipulate the obligation to put revenues from the sale of power into a trust fund, after deducting maintenance expenses (which are minimal) and INECEL's right to control the determination of the price for power sold to consumers.



## Microcentrales para la Generación Hidroeléctrica en el Area Rural

Carlos Tudela

Bolivia se enfrenta un reto cuando trata de disminuir su vulnerabilidad a los efectos de los escalantes costos de combustible. La población está ampliamente dispersa a lo largo de tres zonas geográficas bien distintas. El Sr. Carlos Tudela presenta intentos que estan en proceso al presente para aumentar el uso de la energía basada en la hidroelectricidad.

El territorio de la república de Bolivia es muy extenso y su densidad de población es muy baja, lo que implica que las poblaciones en el área rural sean muy pequeñas y disantes unas de otras, lo que a su vez da lugar a que sus consumos de carga sean muy reducidas.

Debe también considerarse que la geografía de Bolivia es muy heterogénea y en muchas zonas los accidentes topográficos son muy acentuados lo que hace imposible, ya por dificultades técnicas, ya por problemas económicos, interconectar estos pequeños consumidores a los grandes sistemas eléctricos.

El Instituto Nacional de Electrificación Rural, ha estado encarando estos problemas en la medida de sus posibilidades proporcionando a estos pequeños centros poblados energía eléctrica a partir de pequeñas centrales termicas. Sin embargo, en los últimos años se ha modificado sustancialmente la política energética debido a la crisis nacional de hidrocarburos existente y las entidades de gobierno han determinado restringir proyectos con generación térmica.

Una situación de esta naturaleza requiere soluciones adecuadas a la problemática planteada. Por esta razón se ha enfocado la solución del problema recurriendo al aprovechamiento de otros recursos energéticos y se pretende dar mayor importancia al empleo de microcentrales hidroeléctricas que permitan la ejecución de proyectos que requieran reducidas inversiones y satisfagan las necesidades particulares existentes.

### Otras Características

Debemos también considerar que en Bolivia existen tres zonas geográficas bien definidas y que son la

## Small Power Plants for Hydroelectric Generation in Rural Areas

Carlos Tudela

Bolivia is finding itself in a challenging position as it attempts to lower its vulnerability to the effects of increasing fuel costs. The population is widely dispersed across three distinct geographical zones. Mr. Carlos Tudela discusses attempts that are currently underway to increase the use of hydroelectric based energy.

The geographic area comprising the Republic of Bolivia is very extensive with a low population density. For this reason, towns in rural areas are quite small and widely dispersed with corresponding reduced electrical consumption. At the same time, it must be noted that the geography of Bolivia is very heterogeneous and in many zones topographic variations are very sharp. This makes it impossible, either due to technical or economic problems, to link these communities to large power plants.

The National Institute of Rural Electrification has been facing these problems to the best of its ability by offering electric energy from small thermal powerplants to these sparsely populated centers. Notwithstanding, in the last few years energy policy had been modified substantially due to the existing national hydrocarbon crisis with governmental entities determined to restrict thermal generating projects.

A situation of this nature calls for adequate solutions targeted to the problems under consideration. Efforts are presently being focused on taking advantage of other energy resources with greater emphasis on the use of small thermal powerplants which will make it possible to carry out projects requiring small investments but which would still meet specialized existing needs.

### Other Characteristics

It must be borne in mind that there are three well-defined geographic zones in Bolivia: the "altiplano" ("high plateaus") and the "cordillerana" (Andean Ridge), the valley region and



zona altiplánica y cordillerana, los valles y el trópico. Las características climatológicas determinan diferencias de formas de vida entre sus pobladores. En los proyectos de electrificación rural la experiencia nos permite estimar que la dotación inicial se aproxima a los 60 kilovatios hora mes abonado para el trópico, de 40 kilovatios hora mes abonado para los valles y 30 kilovatios hora mes abonado para el altiplano y la zona cordillerana.

Se estima inicialmente en los proyectos en el área rural 16 habitantes por abonado y después de 10 años de servicio se llega a 6 habitantes por abonado valores que son considerados para servicio doméstico a lo que se añaden las cargas industriales, alumbrado público y otros.

### **Poblaciones en el Area Rural**

Dentro de los alcances de los proyectos de electrificación rural y apoyándonos en los resultados obtenidos en el último censo nacional de población y vivienda hemos dividido los centros poblados de acuerdo al siguiente detalle: poblaciones con menos de 200 habitantes, poblaciones de 200 a 500 habitantes, poblaciones de 500 a 1000 habitantes, poblaciones de 1000 a 2000 habitantes, poblaciones de 2000 a 5000 habitantes, poblaciones de 5000 a 10000 habitantes, y poblaciones de 10000 a 20000 habitantes.

Todas las poblaciones mayores ya no son consideradas dentro de los proyectos de Electrificación Rural y son atendidos en generación, transmisión y distribución por ENDE, COBEE y las empresas distribuidoras.

De las poblaciones que se hallan entre 2000 y 20000 habitantes, aproximadamente entre el 45% y el 50% están interconectados a los grandes sistemas de ENDE, COBEE y Comibol, mientras que las otras, cuentan con sistemas de pequeña generación en la mayor parte térmica que debe ser reemplazada o pequeñas plantas hidroeléctricas que resultan obsoletas y que por tanto deben también ser sustituidas y en algunos otros casos que carecen absolutamente de energía eléctrica.

En las poblaciones que cuentan con 2000 habitantes o menos, el problema es más acentuado ya que aproximadamente entre el 30 a 35% están interconectados a los grandes sistemas, mientras que los restantes cuentan con pequeñas unidades de generación térmica o hidráulica que debe ser mejorada o simplemente no cuentan con energía.

Por lo analizado las potencias en cuanto se refiere a micro centrales comprenderían desde 20 kV hasta kV con algunos casos excepcionales de 1 a 5 MV.

the tropical areas, with climate characteristics determining differences in lifestyles among its inhabitants.

Rural electrification project experience has shown that initial allotment is nearly 60kWh per month per service for the tropical areas, 40kWh monthly in the valley region and 30kWh in the "altiplano" and the Andean ridge. In rural areas, 16 inhabitants per service are initially estimated. 10 years thereafter, 6 inhabitants per service which are projected for domestic service. To this must be added public industrial lighting.

### **Towns in Rural Areas**

Within the reach of rural electrification projects and based on results obtained in the last national census of population and dwellings, we have divided population centers by their population levels. Towns of more than 20,000 inhabitants are no longer considered within rural electrification projects and are served by ENDE, COBEE and distributing corporations in regard to their generation, transmission and distribution needs.

Of those towns having between 2,000 to 20,000 inhabitants, approximately 45 to 50% are linked to the complex systems of ENDE, COBEE and COMIBOL, while others have small powerplants, mostly thermal, which should be replaced, or have hydroelectric plants which have become obsolete and must therefore be replaced, while others lack electric energy altogether.

While the problem is more acute in towns of 2,000 or less inhabitants, with 30 to 35% linkage to complex (large) systems, all the remaining ones, have small generating thermal or hydro units which should be improved or which do not have any.

As can be inferred, capacity of small hydroelectric powerplants includes those from 20kW to 500kW with some exceptional cases from 1 to 5MW, which in fact, are few.

In order to find positive solutions to the energy situation, we are analyzing results obtained by the National Meteorological and Hydrological Service, based on the fact that since this organization has hydraulic plants in some of the main rivers, such resources can be utilized for hydroelectric generation.

The following number of power plants are in operation:

La Paz	60 stations
Cochabamba	50

A objeto de hallar soluciones positivas a la situación energética nos hallamos analizando resultados obtenidos por el Servicio Nacional de Meteorología é Hidrología, ya que esta entidad cuenta con estaciones hidrológicas en algunos de los principales ríos, cuyos recursos se puede aprovechar para la generación hidroeléctrica. Así se cuenta con el siguiente número de estaciones.

La Paz	60 estaciones
Cochabamba	50 estaciones
Chuquisaca	18 estaciones
Santa Cruz	21 estaciones
Tarija	18 estaciones
Oruro	9 estaciones
Potosí	7 estaciones

Total 183 Estaciones

Y algunas otras recientemente instaladas

### Aspectos Complementarios

Dentro de las áreas hidrogáficas existen gran cantidad de poblaciones pequeñas situadas en zonas aledañas a ríos principales o tributarios de los sistemas del país que a su vez se hallan alejados de los sistemas eléctricos existentes.

El momento actual exige el aprovechamiento de recursos energéticos no explotados. Para este cometido debe hallarse una solución que satisfaga las necesidades emergentes y esté acorde con las disponibilidades económicas del país. Por esta razón las Instituciones comprometidas en la solución de estos problemas se están elaborando políticas que conjuncionen criterios técnicos y económicos. Dentro de estas alternativas se plantean criterios tales como la estandarización de los sistemas.

La experiencia en la electrificación de poblaciones menores permite establecer límites de potencia a instalarse en función de la importancia, número de habitantes, proyección de la demanda y otros parámetros. Con estas bases estimamos como convenientes centrales del orden de 20, 50, 100, 200 y 500 kV que pueden ser micro centrales hidroeléctricas estandarizadas de modo que puedan ser adoptadas para diferentes alturas de caída y caudales de agua con pequeñas modificaciones de sus componentes y con el aprovechamiento de recursos económicos.

Además se estima conveniente la posibilidad de proyectar casas de máquinas, canales, cámaras de carga, tuberías y otros de tipo estandarizado y recurriendo a técnicos y materiales con menos frecuencia.

Chuquisaca	18 stations
Santa Cruz	21
Tarija	18
Oruro	0
Potosi	7
Total	183 Stations...and some recently installed.

### Complimentary Facts

Within the hydrographic areas, there are a great number of small towns located in areas adjacent to main rivers or tributaries which, as we have already stated, are far from existing electrical systems.

The times call for full use of non-exploited energy resources and for that purpose a solution should be found which would satisfy emergency needs and which would be in step with the country's available economic resources. For this reason, policies are being formulated within the organizations involved in the solution of these problems, which would agree with technical and economic criteria. Within these, alternative criteria such as standardization of the systems are under consideration.

Experience in the electrification of small towns allows us to establish capacity limits to be installed according to their priority, number of inhabitants, projected demand and other parameters. With this data, we estimate standardized hydroelectric powerplants of 1, 20, 50, 100, & 500kW which can be standardized according to varying heads, water supply, etc. with small modifications of their components taking full advantage of economic resources.

Furthermore, the possibility of planning powerhouses, channels, load chambers, penstocks, etc. of standardized type, making less frequent use of technicians and materials is deemed appropriate. At the same time, automated systems of non-sophisticated types are available which can be operated by non-specialized personnel. In sum, we propose to use all means with the object of minimizing construction costs and reducing the high cost of pertinent engineering studies.

By way of complementary information, based in some projects of small hydroelectric plants presently under way and others planned, construction costs in Bolivia are 1,500 \$US per kW installed, which implies channel construction of

Asimismo, sistemas de automatización poco sofisticados que puedan ser operados por personal no especializado, en fin recurrir a cuanta posibilidad exista a objeto de abaratar al máximo la construcción y reducir los elevados costos de estudios particulares de ingeniería.

A modo de información complementaria en base a algunos proyectos de micro centrales hidroeléctricas en actual ejecución y otros en estudio, el costo de construcción en Bolivia es de 1.500 — US\$ por kV instalado lo cual implica construcción de canales de 500 a 1000 mts, tubería de presión de hasta 300 mts con simples barrajes de derivación y para potencias de 50 kV hasta 1 MV.

500 to 1,000 meters, penstocks of up to 300 meters, with simple diversion dams and with capacities of 50kW up to 1 MW.

# Planeamiento de Pequeños Sistemas Eléctricos y Minicentrales Hidroeléctricas

Humberto Egoavil Puccinelli

# Planning of Small Electric Systems and Mini Hydropower Plants

Humberto Egoavil Puccinelli

---

Humberto Egoavil presenta la experiencia del Perú para suministrar electricidad a las comunidades rurales. Él detalla los elementos de la planificación que su nación ha considerado necesarios para llevar a cabo dichos proyectos.

---

---

Peru's experience in providing electricity to rural communities is presented by Humberto Egoavil. He details the planning elements his nation has found necessary in carrying out such projects.

---

## Introducción

### Situación de la Electrificación Rural en el Perú

En el Perú, la mayor parte de la población rural vive concentrada en localidades o pueblos y no dispersa en el campo en el que desarrolla su actividad agraria. La mayoría de estas localidades tienen poblaciones inferiores a los 2000 habitantes, sin embargo existen pueblos, con población superior a esta cantidad. Es por esta razón que no debe fijarse una cantidad de habitantes para calificar a una localidad como rural. En nuestro país, se debe calificar como rural a toda población cuya actividad económica sea de carácter agropecuario o derivada de este quehacer.

La electrificación rural en el Perú aún no ha alcanzado nivel satisfactorio, existiendo valles importantes y numerosas localidades aisladas sin servicio eléctrico y siendo todavía bajo el consumo de energía de los usuarios. El bajo nivel actual de electrificación rural se debe principalmente a las fuertes necesidades de inversión para sistemas eléctricos ubicados principalmente en regiones de difícil topografía, sin adecuada infraestructura vial, lo que encarece las obras. Otros factores importantes que originan esta situación son los escasos recursos económico-financieros y la falta de una política y organización adecuada para el desarrollo de la electrificación rural. Esta situación refleja que de una población rural de orden de 7,000,000, solo 9.6% tienen servicios eléctricos. El consumo domiciliario actual de un abonado-rural es del orden de 25 kWh/mes y el consumo anual por alumbrado público en pueblos es del orden de 40 kWh/fam.

Electroperú viene implementando pequeños proyectos de electrificación de carácter rural. Para este propósito se tienen los siguientes programas:

## Introduction

### Status of Rural Electrification in Peru

Most of the rural population in Peru is clustered in communities or villages which do not spread into the fields used for agricultural purposes. The majority of these communities have a population below 2,000 people, however some towns do have a higher number of inhabitants. For this reason, population should not be used as a criterion to qualify a community as "rural". In our country, all communities whose economic activity is agricultural or dedicated to livestock and their derivatives should be considered rural.

Rural electrification in Peru has not yet reached a satisfactory level since there are important valleys and numerous isolated communities with no electrical service and whose energy consumption is still low. The present low level of rural electrification is due primarily to strong needs for investment in electrical systems located in regions of difficult topography, without an adequate road infrastructure, which increases the cost of the works. Other important factors contributing to this situation are the scarcity of economic-financial resources and the lack of adequate policies and organization to facilitate development of rural electrification. This is reflected by the fact that, out of a rural population on the order of 7 million, only 9.6% have electrical service. The domestic consumption of rural electricity is on the order of 25 kWh/month and the annual usage for public illumination in the villages is about 40kWh/family.

Electroperu has been implementing small rural electrification projects of the following types:

**Proyectos de interés local.** Consisten en proyectos a nivel local de pequeñas hidroeléctricas o térmicas diesel y redes asociadas, que son realizados en coordinación con los Organismos de Desarrollo Departamentales y/o Regionales. Para este propósito, Electroperú tiene una Oficina de Proyectos de Interés Local (OPIL).

**Proyectos de minicentrales hidroeléctricas.** Con las finalidades de sustituir la generación térmica por hidroelectricidad y de suministrar energía a poblaciones aisladas o grupos de ellas, se tiene un Programa de Construcción de Minicentrales Hidroeléctricas.

Estos proyectos consisten en Pequeños sistemas Eléctricos formados por la Central, Líneas de Subtransmisión y de Distribución. Para este propósito, Electroperú ha organizado una Oficina del Programa de Tecnología Aplicada (OPTA).

**Proyectos de ampliación y mejoramiento de las unidades de explotación.** Para la operación y mantenimiento de sus sistemas eléctricos, Electroperú cuenta en su organización con 5 Unidades de Explotación.

Cada Unidad tiene a su cargo una región del país, formada por varios departamentos vecinos.

Dentro de sus funciones las Unidades de Explotación tiene a su cargo el Programa de "Ampliación y Mejoramiento" de sus sistemas eléctricos, que incluye la construcción de pequeños sistemas eléctricos principalmente en localidades aisladas.

Electroperú en su Gerencia de Planeamiento cuenta con una Jefatura de Proyectos de Electrificación Rural, cuya finalidad principal es realizar el Plan Nacional de Electrificación Rural, así como realizar estudios de sistemas rurales.

### **Estadística de Pequeñas Centrales para Electrificación Rural**

Las centrales de generación para electrificación rural son térmicas a base de petróleo diesel e hidroeléctricas. Estas pequeñas centrales, en su mayoría tienen una potencia instalada hasta de 1000 kW. En este rango de potencia (1000 kW) instalada por central, en el año 1976 existían 892 pequeñas centrales, con una potencia instalada total de 159,290 kW, es decir el 6.3% del total en el país. La producción de energía fué del orden de 237.4 GWh, que representó el 3% de la producción total de país durante ese año.

De este total de 892 pequeñas centrales, 451 pertenecen a sistemas de servicio público y 441 corresponden a los autoproductores. Debido a que estas

**Local interest projects.** These consist of local levels projects with small hydroelectric or thermal diesel powerplants and associated grids implemented in cooperation with agencies for regional or departmental (state) development. For this purpose, Electroperu has an Office of Local Interest Projects (OPIL).

**Mini-hydroelectric projects.** For the purpose of substituting hydropower for thermal generation and to supply energy to isolated populations or groups of them, we have a Mini-hydropower construction Program.

These projects consist of small electric systems, with components such as powerplant, subtransmission and distribution lines. For this purpose, Electroperu has organized an Office of Applied Technology (OPTA).

**Expansion and improvement projects for operational units.** To keep up operations and maintenance of the electric systems, Electroperu has five operations units. Each unit has responsibility for a region of the country, each region formed by several neighboring departments. Among the functions of the operations units, are the "Expansion and Improvement" of electric systems, including construction of small electric systems, mainly in isolated communities.

Electroperu also has an Office for Rural Electrification Projects, as part of Planning Management, whose main purpose is to formulate the National Rural Electrification Plan, as well as perform rural system studies.

### **Statistics on Small Rural Electrification Systems**

The generation systems for rural electrification are thermal, operated by petroleum fuel, diesel, or hydropowered. Most of these small units have an installed capacity of up to 1000 kW. In this range of 1000 kW installed capacity per system, during 1976 there were 892 small units with an installed capacity of 159,290 kW, representing 6.3% of the country total. The energy output was 237.4 GWh, which represented 3% of the total output in the country during that year.

Out of this total of 892 small systems, 451 are serving the public sector and 441 are industrial or privately-owned units. Due to the fact that these systems (451) are supplying energy to rural areas, we present an analysis of them. The following chart shows that the 451 public service systems

centrales, solo las de servicio público (451) suministran energía a las áreas rurales, se presenta un análisis de las mismas. El siguiente cuadro nos muestra la evolución en el tiempo de la instalación de 570 grupos eléctricos existentes en las 451 centrales de servicio público.

evolved out of 570 groups in existence during the construction period.

**Tabla 1**  
**Table 1**

**Grupos de generación en 451 Centrales Menores de 1000 kW Servicio Público**  
**Generation Groups in 451 Public Service Plants Smaller Than 1000 kW**

<u>Año de Instalación Installation Time</u>	<u>No. Grupos Hidroelectricos Hydro Groups</u>	<u>No. Grupos Termicos Thermal Groups</u>	<u>Total de Grupos Total Groups</u>	<u>Porcentajes % Percentages %</u>
Antes de 1960 Before 1960	73	51	124	21.76
Entre 1960 y 1970 Between 1960 & 1970	87	143	230	40.35
Después de 1970 After 1970	17	127	144	25.26
Sin información Without Information	<u>24</u>	<u>48</u>	<u>72</u>	<u>12.63</u>
Total	201	369	570	100.00
	35.26%	64.74%	100.00%	

El Cuadro No. 2 nos muestra la clasificación y potencia instalada de las Pequeñas Centrales de Servicio Público. En este cuadro se puede apreciar que la mayoría de las centrales hidráulicas son de potencia hasta 50 kW, lo que no significa que el Programa de Minicentrales se desarrollará en este rango de potencia, ya que solo alimentarían cada una a una población. Una minicentral se debe dimensionar, si el recurso hídrico lo permite, de manera que en una o dos etapas cubra la demanda proyectada de una mini-región (conjunto de poblaciones vecinas).

Table 2 shows the type and installed capacity of small energy systems for public service. It shows that most of the hydropower systems have a capacity of up to 50 kW, which does not indicate that the mini-hydropower systems will be developed in this range, but that they will each serve a small community. Each hydropower system should be sized, if the water resource permits it, in such a way that in one or two stages it would cover a mini-region's projected demand.

Tabla 2  
Table 2

Clasificación y Potencia Instalada de Pequeñas Centrales de Servicio Público Hasta 1976  
Classification and Installed Power of Small Plants for Public Service up to 1976

	Centrales Central					
	Hidroelectricas Hidro		Termicas Thermal		Totales Total	
	Numero Number	Potencia Instalada kW Installed Power kW	Numero Number	Potencia Instalada kW Installed Power kW	Numero Number	Potencia Instalada kW Installed Power kW
Hasta 50 Up to 50	110 (59.5%)	2,487 (14.5%)	122 (45.9%)	3,162 (9.7%)	232 (51.4%)	6,009 (11.5%)
50 - 500	66 (35.7%)	10,240 (52.3%)	135 (50.8%)	22,348 (68.6%)	201 (44.6%)	32,588 (62.5%)
500 - 1000	9 (4.8%)	6,492 (33.2%)	9 (3.3%)	7,074 (21.7%)	18 (4.0%)	13,566 (26.0%)
Totales Total	185 (100%)	19,579 (100%)	266 (100%)	32,584 (100%)	451 (100%)	52,163 (100%)
Porcentajes Percent	41.0%	37.5%	59.0%	62.5%	100%	100%

**Fuentes de Energía para la Electrificación Rural**

**Fuentes térmicas.** Las fuentes de energía en el Perú utilizadas para la Electrificación rural son: constituida por el petróleo, para generación de electricidad mediante plantas diesel. Este medio de conversión de energía ha sido muy utilizado debido a las menores inversiones en equipos respecto a las inversiones para el aprovechamiento de otras fuentes y por el bajo costo del combustible hasta el año 1973.

No obstante ser la política energética el utilizar en lo mínimo el petróleo como fuente de energía, hay regiones del país, principalmente en la Selva y en localidades aisladas en donde no hay otra alternativa que generar electricidad con grupos diesel. Como referencia se hace mención que las reservas probadas de petróleo al mes de Diciembre de 1979 son de 586 millones de barriles.

**Energy Sources for Rural Electrification**

**Thermal Sources.** The energy sources used in Peru for rural electrification are primarily thermal using petroleum fuel for electricity generation by diesel plants. This means of energy conversion has been widely used due to the fact that there are lower equipment investments when compared to investments needed to take advantage of other sources and because of the low cost of fuel up to 1973.

In spite of the government's policy to minimize the use of petroleum fuel as energy source, there are regions in the country, especially in the jungle and in isolated communities, where there is no alternative but to generate electricity with diesel powerplants. As a point of reference, we want to mention that Peru's tested petroleum reserves as of December 1979 were 586 million barrels.

**Fuentes hidráulicas.** El Perú cuenta con un gran potencial hidroeléctrico factible de ser desarrollado técnica y económicamente, del orden de 58,346 MW en centrales mayores de 30 MW. Este potencial en realidad es mayor pues todavía no se ha realizado una evaluación a nivel nacional de los pequeños recursos, ubicados principalmente en las partes altas de las cuencas, donde se encuentran con frecuencia saltos apreciables pero con pequeños caudales. Electroperú está gestionando la obtención de una Cooperación Técnica de la República Federal Alemana para confeccionar un Plan Maestro de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, el cual fundamentalmente comprenderá la evaluación de los pequeños recursos hídricos y el planeamiento de los proyectos de electrificación rural a base de generación hidráulica. Estos pequeños recursos son factibles de utilizar por encontrarse generalmente en las cercanías de las poblaciones rurales y por requerir de obras relativamente económicas.

**Interconexión.** Si bien es cierto que en el sentido estricto, la interconexión no constituye una fuente de energía, puede así considerarse por consistir en aprovechar mediante líneas de derivación, la energía disponible en sistemas eléctricos existentes y de mayor envergadura.

En general es económicamente factible la derivación mediante líneas de tensión hasta 33kV. Excepcionalmente si la carga lo justifica puede alcanzarse la tensión de 60 kV, por ejemplo para la electrificación de valles donde exista sistema de bombeo de agua subterránea. En el caso de miniregiones la tensión de subtransmisión se limita en general hasta 13.2 kV.

### Otras Fuentes No Convencionales

**La biomasa:** constituida principalmente por residuos vegetales y animales. Se tiene programado instalar plantas piloto que mediante pirólisis produzca gas pobre para que en mezcla con petróleo, accione grupos térmicos del tipo diesel. El Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC), está desarrollando un programa de investigación que incluye la instalación reciente de una Planta Piloto en Puno.

**Eólica:** actualmente esta fuente no constituye un medio económico de generar energía eléctrica para cargas rurales, sin embargo es utilizada en medios rurales para el bombeo de pequeños volúmenes de agua mediante molinos de viento.

**Solar:** debido a los altos costos del equipamiento, esta fuente tampoco es económica para generar elec-

**Hydraulic sources.** Peru has a great hydropower potential — in the order of 58,346 MW in systems of over 30 MW each — ready to be developed both technically and economically. In reality, this potential is larger since a national-level evaluation of smaller resources has not yet been performed. These resources are located in the higher portions of the basin where frequently there are appreciable waterfalls, but frequently with low flow. Electroperu is negotiating a technical cooperation agreement with the Federal Republic of Germany to design a master plan for small hydro-powerplants to evaluate small hydro sources and to plan rural electrification projects based on hydropower. The feasibility of the utilization of these small hydro resources is due to their location in proximity to rural populations and relatively low installation cost.

**Interconnection.** Though in strict sense, the interconnection system does not constitute a source of energy, it may be considered so because it consists of distribution lines which will permit taking advantage of energy available in larger electric systems already in existence.

In general, distribution lines of up to 33kV are economically feasible. Occasionally, when the load justifies it, the voltage could go up to 60 kV, as in the case of electrification of valleys where there is an underground water pumping system. In the case of mini-regions, the subtransmission voltage is limited in general to 13.2 kV.

### Other Unconventional Energy Sources

**Biomass,** constituted mainly of vegetable and animal residuals, is one source. There is a plan to install pilot plants which would produce gas by means of pyrolysis. This gas, mixed with petroleum, would start thermal groups of the diesel type. The Institute of Industrial Technology and Technical Policy (ITINEC) is developing a research program which includes the recent installation of a pilot plant in Puno.

At present, eolic sources are not an economic means to generate electric power for rural loads, but are used in rural environments for pumping small volumes of water by windmills.

Due to the high costs of equipment, solar sources are not economic for the generation of electricity. However, the sun is used as a heat source for waterheating and the drying of agricultural products.



tricidad, sin embargo es utilizada como fuente de calor para calentamiento de agua y secado de productos agrícolas.

El carbón no se utiliza en la generación de electricidad en el Perú y para la electrificación rural no constituye una fuente económica debido a que los equipos requeridos están diseñados para potencias mucho mayores que las de las cargas rurales.

## Planeamiento de Pequeños Sistemas Eléctricos

Con la finalidad de lograr un adecuado uso de los escasos recursos económicos y financieros es necesario elaborar el Plan Nacional de Electrificación Rural, el que comprenda todos los proyectos de esta naturaleza. En general los proyectos de electrificación rural pueden clasificarse en:

- a) Electrificación de Valles
- b) Electrificación de Pequeños Sistemas
- c) Electrificación de Localidades Aisladas.

**Electrificación de valles.** Son proyectos de importante magnitud, que cubren valles en los cuales se encuentran ubicados numerosas localidades y población dispersa.

Existen valles en los cuales, además de las cargas eléctricas comunes como son aquellas de equipos agrícolas (ejemplo: pequeños molinos), alumbrado, etc., existen demandas de energía para bombeo de agua subterránea. En general los proyectos rurales que permitan obtener agua para irrigación, son los más atractivos, algunos de estos proyectos son: Valle de Chíncha, Valle de Ica, Valle de La Yarada y Valle de Magollo.

**Electrificación de pequeños sistemas.** Definimos como pequeños sistemas a aquellos proyectos que incluyen varias poblaciones cercanas ubicadas en el área de influencia de una pequeña central de generación. En general estos proyectos se encuentran ubicados en la serranía del Perú y comprenden cargas eléctricas principalmente para servicio domiciliario y alumbrado público.

**Electrificación de localidades aisladas.** Existen numerosas poblaciones aisladas, que para electrificarlas es necesario implementar una central eléctrica pequeña solo para cada población.

### Definición de Pequeño Sistema Eléctrico

Definimos un Pequeño Sistema Eléctrico al conjunto de obras de generación, subtransmisión, transformación y de distribución de energía eléctrica a instalarse en un área en la que se sitúan varias pobla-

Coal is not used for electricity generation in Peru. It does not constitute an economical source for rural electrification due to the fact that the equipment required is designed for capacities much higher than those of the rural loads.

## Planning Small Electrical Systems

To obtain the best use of the scant economic and financial resources, it is necessary to design a national plan for rural electrification, covering all projects of this nature. In general, the rural electrification projects can be classified as:

- a) Electrification of valleys,
- b) Small electrification systems
- c) Electrification of isolated communities.

**Electrification of valleys.** These are projects of importance, covering valleys where there are numerous communities and population is spread out. There are valleys where, besides the common electrical loads such as agricultural equipment (e.g. small windmills), illumination, etc, there are energy demands for underground water pumping. In general, rural projects to obtain irrigation water are the most attractive. Some of these projects are in the Chíncha Valley, Ica Valley, La Yarada Valley, and Magollo Valley.

**Small electrification systems.** Small systems are defined as those projects which serve several neighboring communities located in the area of influence of a small powerplant. In general, these projects are located in the mountains in Peru and they serve mainly domestic and public illumination loads.

**Electrification of isolated communities.** There are a number of isolated communities needing installation of a small electric powerplant to provide electrification to each one of them.

### Definition of Small Electric System

A small electric system is the aggregate of all the works required for generation, subtransmission, transformation and distribution of electric power to be installed in an area where several communities may be supplied from a common source of energy. This area of influence is called a mini-region.

The power installations preferably consist of mini-hydropower plants with installed capacity of up to 1000 kW, without limiting them to this capacity. There will be systems with a higher capacity demand, but they are rural in character

ciones que pueden ser abastecidas desde una fuente común de generación de energía.

Esta área de influencia la denominamos una Mini-Region.

Las obras e generación, con preferencia son constituidas por minicentrales hidroeléctricas de potencia instalada hasta 1000 kW, sin ser esta potencia limitativa, pues algunos sistemas tendrán una demanda proyectada superior a esa cantidad, sin embargo son de carácter rural y por su magnitud constituyen pequeños sistemas.

Las obras de subtransmisión son constituidas por líneas de nivel de tensión de 13.2 kV (10 kV), en postería de madera preferentemente. Estas líneas pueden alcanzar longitudes hasta de 20 km, pero en general se llega a distancias de 15 km. Eventualmente cuando la importancia o la magnitud de una miniregión lo justifique, se puede alcanzar el nivel de 33 kV.

La transformación está conformada por pequeños transformadores de 13.2/0.23 kV (ó 10/0.23 kV) colgados de un poste, de potencias entre 10 y 37.5 kVA.

La distribución del tipo aéreo usa postes de madera de 8 á 10 metros, con conductores de cobre aislados (WP).

Estas redes pueden ser monofásicas en primera etapa.

### **Crterios para la Determinación del Area de Influencia**

Un pequeño sistema eléctrico en principio debe comprender todas las poblaciones posibles de ser electrificadas mediante líneas de subtransmisión desde una fuente común de energía, sin embargo es necesario fijar ciertos criterios técnicos y económicos que permitan determinar su area de influencia, Los criterios principales son:

1. Proximidad entre poblaciones, que permita conformar líneas eléctricas de nivel hasta 13.2 kV, pudiéndose alcanzar distancias hasta 20km. (sin ser exactamente limitativo). Excepcionalmente, si la importancia de la demanda lo justifica, puede alcanzarse el nivel de 33 kV.
2. En caso de aprovechamiento de recurso hídrico, su capacidad es un factor limitante del número de poblaciones que integren el area de influencia, aunque si la demanda del sistema es mayor de la capacidad del recurso hídrico, puede emplearse potencia instalad térmica para las horas de punta, siempre y cuando la importancia y ubicación de las poblaciones lo justifique. Cabe señalar que las horas de punta son reducidas (no más de 2

and their magnitude places them in the category of small systems.

The subtransmission installation consists of 13.2 kV lines, preferably on wood poles. These lines can be up to 20 km long, but in general are about 15 km long. When the electrical demand in the mini-region justifies higher voltages, 33 kV construction is used. Small, pole mounted, 13.2/0.23 kV transformers with capacity ratings between 10 and 37.5 kVA are generally used. Overhead distribution utilizes wooden poles from 8 to 10 meters in length and insulated copper conductors. (WP).

### **Criteria for Determination of Area of Influence**

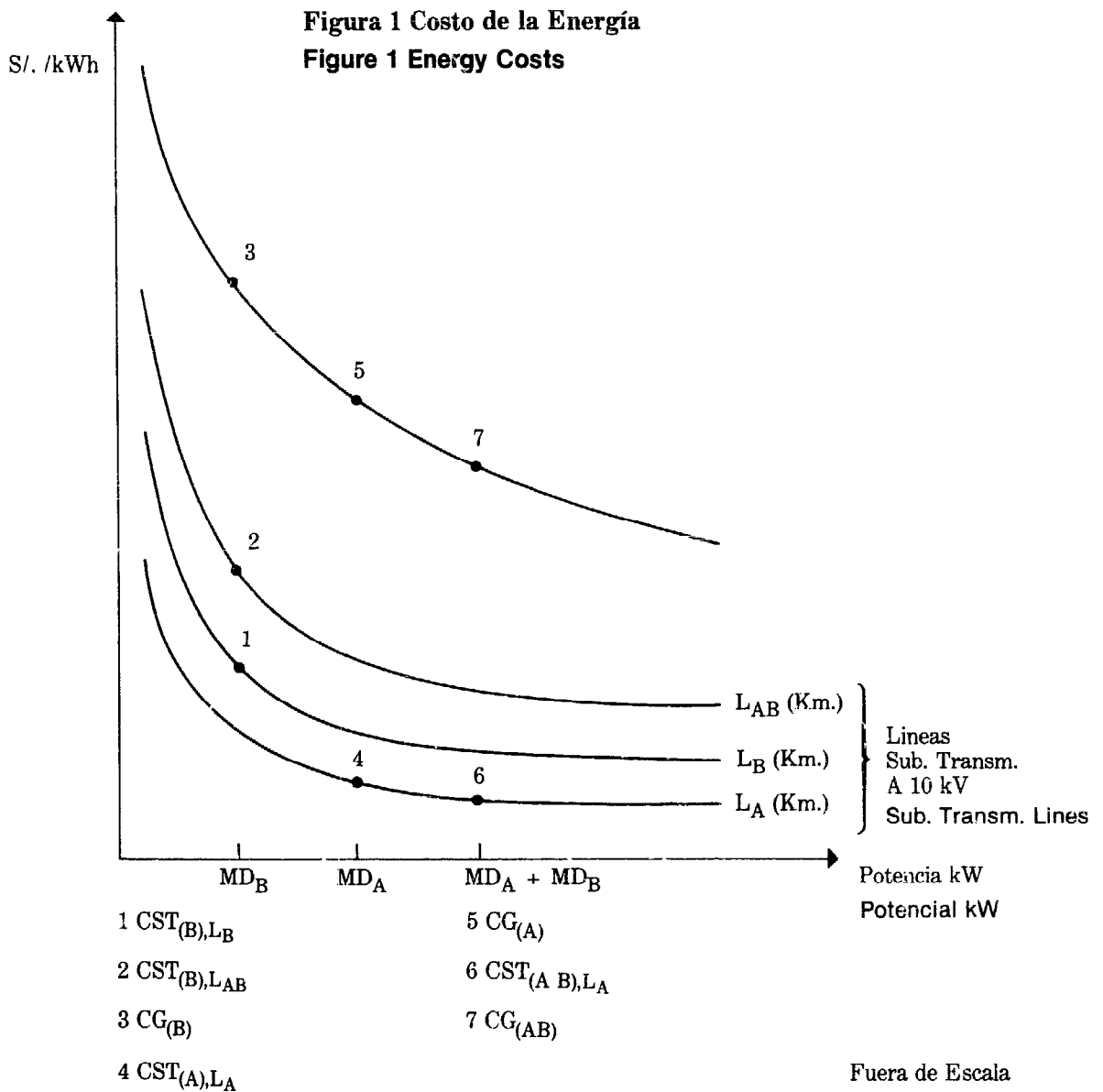
A small electric system should cover, from its inception, all the potential communities to be electrified by subtransmission lines extending from a common source of energy. However, it is necessary to set certain technical and economic criteria to define this area of influence. The main criteria are:

1. Geographical proximity of communities to extend distribution lines of up to 20 km (without strict limitation). Occasionally, when the magnitude of the demand justifies it, the level of 33 kV may be attained.
2. In case of hydropower resources, capacity is a limiting factor in the number of communities incorporated in the area of influence. If the demand of the system is greater than the capacity of the hydropower source, installed thermal power may be used for peak hours, if and when the importance and location of the communities to be served justify doing so. It should be pointed out that peak hours are reduced (nor more than 2 hours/day) in the case of rural type loads. To adopt this mixed solution, an economic study should be undertaken. Even though the petroleum consumption in peak hours is reduced, the investment in the thermal installation is not taken full advantage of.
3. The topography of the terrain should permit access for material transportation between communities to make construction, maintenance and operation of the system possible.
4. In the case of hydropower, access to the potential powerhouse and its distance to the load center is important.

horas/día) en caso de cargas de tipo rural. Para adoptarse esta solución mixta debe realizarse un estudio económico, pues no obstante ser reducido el consumo de petróleo en horas de punta, la inversión de la instalación térmica es poco aprovechada.

3. Topografía del terreno, que permita el acceso y acarreo de materiales entre poblaciones, a fin de hacer posible la construcción, mantenimiento y operación del sistema.
4. En caso de aprovechamiento hídrico, acceso a la posible central y su distancia al centro de carga.
5. Existencia de vías de acceso a la miniregión.
6. Estimado de costos de venta de la energía utilizando gráficos (ver Figura 1).

5. Existence of access roads to the miniregion.
6. Cost estimates for energy sales using graphics (Figure 1)

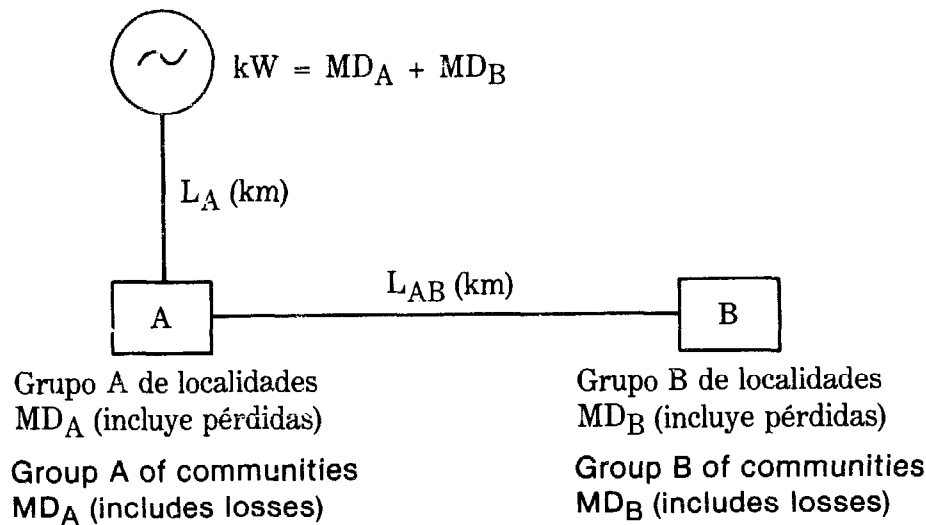


Por ejemplo, se puede tener una miniregión susceptible de ser electrificada mediante cualquiera de las dos siguientes alternativas:

1ra. Alternativa - Un solo pequeño sistema

A mini-region may be electrified by either of the following two alternatives:

1st Alternative — Only one small system



$CP_1 =$  Costo promedio de la energía en la primera alternativa (ctvo. US\$/kWh).

Aproximadamente:

$$CP_1 = \frac{CG_{(AB)} + CST_{(AB),L_A} + CST_{(B),L_{AB}} \times MD_B}{(MD_A + MD_B)}$$

Siendo:

$CG_{(AB)}$  = Costo de generación de energía, para la suma de las demandas ( $MD_A + MD_B$ ) y para la distancia  $L_A$

$CST_{(AB),L_A}$  = Costo de subtransmisión de energía para la suma de demandas ( $MD_A + MD_B$ ) y para la distancia  $L_A$

$CST_{(B),L_{AB}}$  = Costo de subtransmisión de energía para la demanda  $MD_B$  y para la distancia  $L_{AB}$ .

$MD_A$  = Máxima Demanda proyectada del Grupo A de localidades (kW)

$MD_B$  = Máxima Demanda proyectada del Grupo B de localidades (kW)

$CP_1 =$  Average cost of energy under first alternative (cents US/kWh)

Approximately:

$$CP_1 = \frac{CG_{(AB)} + CST_{(AB),L_A} + CST_{(B),L_{AB}} \times MD_B}{(MD_A + MD_B)}$$

where:

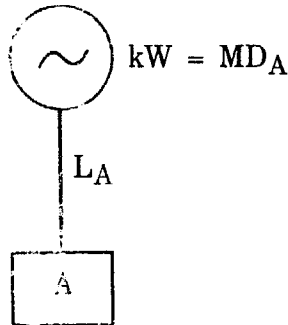
$CG_{(AB)}$  = Cost of energy generation, for the sum of demands ( $MD_A + MD_B$ )

$CST_{(AB),L_A}$  = Cost of subtransmission of energy for the sum of demands ( $MD_A + MD_B$ ) and for the distance  $L_A$

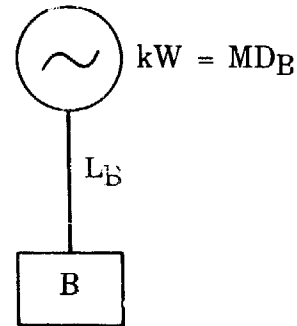
$CST_{(B),L_{AB}}$  = Cost of subtransmission of energy for demand  $MD_B$  and distance  $L_{AB}$ .

$MD_A$  = Maximum projected demand for Group A of communities (kW)

$MD_B$  = Maximum projected demand for Group B of communities (kW)



Grupo A de localidades  
 $MD_A$   
 Group A of communities  $MD_A$



Grupo B de localidades  
 $MD_B$   
 Group B of communities  $MD_B$

$CP_2 =$  Costo Promedio de la energía en la Segunda Alternativa (ctvo. US\$/kWh).

Aproximadamente:

$$CP_2 = \left( \frac{CG_{(A)} + CST_{(A),L_A}}{MD_A + MD_B} \right) \times MD_A + \left( \frac{CG_{(B)} + CST_{(B),L_B}}{MD_A + MD_B} \right) \times MD_B$$

Siendo:

- $CG_{(A)}$  = Costo de generación de energía para la demanda  $MD_A$
- $CG_{(B)}$  = Costo de generación de energía para la demanda  $MD_B$
- $CST_{(A),L_A}$  = Costo de sub-transmisión de energía para la demanda  $MD_A$  y para la distancia  $L_A$
- $CST_{(B),L_B}$  = Costo de sub-transmisión de energía para la demanda  $MD_B$  y para la distancia  $L_B$
- $MD_A$  = Máxima Demanda proyectada del Grupo A de localidades (kW)
- $MD_B$  = Máxima Demanda proyectada del Grupo B de localidades (kW)

$CP_2 =$  Average Cost of the energy in second alternative (cents US/kWh)

Approximately:

$$CP_2 = \left( \frac{CG_{(A)} + CST_{(A),L_A}}{MD_A + MD_B} \right) \times MD_A + \left( \frac{CG_{(B)} + CST_{(B),L_B}}{MD_A + MD_B} \right) \times MD_B$$

Where:

- $CG_{(A)}$  = Cost of energy generation for demand  $MD_A$
- $CG_{(B)}$  = Cost of energy generation for demand  $MD_B$
- $CST_{(A),L_A}$  = Cost of energy sub-transmission to supply demand  $MD_A$  at a distance  $L_A$
- $CST_{(B),L_B}$  = Cost of energy sub-transmission to supply demand  $MD_B$  at a distance  $L_B$
- $MD_A$  = Maximum projected demand for Group A of communities (kW)
- $MD_B$  = Maximum projected demand for Group B of communities (kW)

Once the values of  $CP_1$  and  $CP_2$  are known it will be found that the most convenient alternative will be the one with the lowest energy cost.

Una vez conocidos los valores  $CP_1$  y  $CP_2$ , se deduce que la alternativa de menor costo promedio de la energía, será la más conveniente.

7. Producción Agropecuaria de las localidades (si está disponible).
8. Colaboración e interés de los pobladores.

### **Proyección de la Demanda de Potencia y del Consumo de Energía**

Para determinar la potencia a instalarse en una minicentral y los calibres de las líneas de subtransmisión y redes de distribución, es necesario estimarla máxima demanda proyectada en un horizonte de planeamiento, de las localidades ubicadas en el área de influencia del Pequeño Sistema Eléctrico.

La proyección de la máxima demanda de potencia, año a año, permite determinar las etapas y oportunidad de equipamiento de las instalaciones tanto para la central, líneas y redes de distribución. El equipamiento por etapas permite reducir los costos de la energía. En el caso de las minicentrales, el equipamiento por etapas para centrales menores de 200 kW no parece ser una solución práctica, debido a lo reducido de esta potencia. Sin embargo, en centrales de potencias mayores, es conveniente construir en dos etapas, si es técnicamente viable de acuerdo a las condiciones particulares de las obras.

En el caso de líneas y redes, es conveniente construirlas monofásicas en primera etapa y trifásicas posteriormente, siempre y cuando el balance por fases y los límites de caída de tensión lo permitan.

Asimismo, es necesario estimar la proyección anual del consumo y pérdidas de energía para determinar las condiciones económico financieras de cada proyecto, con el objeto de evaluarlos y seleccionar los más a trayentes en una lista priorizada de los mismos.

**Método de proyección de la demanda de potencia y del consumo de energía.** En la práctica se usan dos métodos para estimar la proyección anual de la demanda y de la energía, estos métodos son utilización de curvas de correlación a base de estadísticas y procesamiento de encuestas de campo.

Debido a la magnitud del problema (gran número de poblaciones) y al nivel de estudio del mercado requerido en la fase de planeamiento, y no obstante no contar con estadística suficiente, se ha optado por seguir el método de curvas de correlación, revisando los resultados para verificar que se encuentren en

7. Agricultural and livestock production of the communities (when available)
8. Cooperation and interest on the part of the community members.

### **Projection of Energy Demand and Consumption**

To determine the capacity to be installed at a ministration and the size of the subtransmission lines and the distribution grid, it is necessary to estimate the maximum projected demand, at a planning level, of the localities situated in the area of influence of the small electric system.

The maximum projected energy demand, year after year, permits one to determine the stages and opportunities to obtain equipment for the installations, powerhouse, lines and distribution grid. Obtaining equipment in stages permits a reduction in energy cost. In the case of the ministrations, buying equipment in stages for stations of less than 200 kW does not seem to be a practical solution, in view of the small output of the station. However, when the capacity is higher, it is convenient to build in two stages, when technically feasible depending on the particular project.

When it is possible, distribution lines should use single phase construction. For larger loads, the voltage drop becomes excessive and three phase construction should be used.

In a similar way, it is necessary to estimate the projected annual use and energy losses to determine the economic-financial conditions of each project for the purpose of evaluation and selection of the most attractive ones to include in a prioritized list.

**Method of projection for power demand and energy consumption.** In practice, two methods are used for the estimation of power demand and energy consumption. These methods are a) correlation curves based on statistics and b) processing of field surveys.

Due to the magnitude of the problem (great number of inhabitants) and at the level of the market survey required in the planning phase, and though the lack of sufficient statistical data, we have taken the option of following the correlation curve method, reviewing the results to verify that they are at a power range typical of rural consumption patterns. With this method average results are obtained.

un rango de potencias y consumos de carácter rural. Con este método se obtienen resultados promedios.

El método de procesamiento de encuestas, si bien es cierto puede proporcionar mejores resultados tiene por inconveniente requerir mayor tiempo de trabajo y necesidad de mayores recursos, no obstante que se aplicaría con encuestas en localidades elegidas como muestra. Este método es más recomendable y práctico en el caso de estudios de mercado para un proyecto determinado.

El método de curvas de correlación consiste en utilizar curvas del tipo exponencial, que permiten estimar el consumo de energía anual en función del número de consumidores, según la siguiente fórmula:

$$(E_{sd})_n = A \times (NC_n)^{(B + 1)}$$

Siendo: A y B parámetros determinados por correlación de estadística, por la División Técnica de ELECTROPERU.

Siendo:

$NC_n$  = Número de consumidores del año n

$(E_{sd})_n$  = Energía consumida en servicio domiciliario, para el año n

$CE_1$  = De 0.30 a 0.40

$CE_N$  = De 0.80 a 0.90 (final para el último año)

La energía total anual vendida será:  $(EV)_n$

$$(EV)_n = K \times (E_{sd})_n + (E_{ap})_n$$

Siendo K = Factor que incluye los consumos comercial, industrial menor y usos generales (entre 1.125 a 1.250)

$(E_{ap})_n$  = Consumo del alumbrado público (De 40 a 60 kWh/familia/año aproximadamente)

La energía perdida en la distribución se asumirá como un porcentaje de la energía anual vendida (aproximadamente 6%).

La energía total a generarse anualmente será la energía vendida más las pérdidas de distribución, más las pérdidas en sub-transmisión que dependen del conductor y distancia de la línea.

La demanda de potencia de cada localidad estará dada por:

$$(MDL)_n = Q \times \left( \frac{K(E_{sd})_n}{Hu_n} + \frac{E_{ap}}{3000} \right)$$

Siendo Q = Factor que incluye las pérdidas de potencia.

$Hu_n$  = Horas de utilización anual (varía linealmente)

Even though the method of processing survey questionnaires might provide better results, its inconvenience lies in requiring more time and better resources, even if applied in localities that would be used as pilot projects. This method is practical and advisable in the case of marketing studies for a specific project.

The correlation curve method consists of using exponential curves that permit the estimation of the annual energy consumption as a function of the number of consumers, according to the following formula:

$$(E_{sd})_n = A \times (NC_n)^{(B + 1)}$$

where A and B are parameters determined by statistical correlation established by the Technical Division of Electroperu.

where:

$NC_n$  = Number of consumers during year n

$(E_{sd})_n$  = Energy consumed in domestic service, during year n

$CE_1$  = From 0.30 to 0.40

$CE_N$  = From 0.80 to 0.90 (final for the last year)

The total annual energy sold will be:  $(EV)_n$

$$(EV)_n = K \times (E_{sd})_n + (E_{ap})_n$$

where:

K = Factor including commercial, small industry and general uses (from 1.125 to 1.250)

$(E_{ap})_n$  = Public illumination consumption (From 40 to 60 kWh/family per year approximately).

The energy lost in the distribution will be assumed as a percentage of the annual amount of energy sold (approximately 6%).

The total amount of energy to be generated annually will be the energy sold, plus distribution losses, plus subtransmission losses, depending on the conductor and the length of the line.

The power demand for each locality will be given by:

$$(MDL)_n = Q \times \left( \frac{K(E_{sd})_n}{Hu_n} + \frac{E_{ap}}{3000} \right)$$

Where Q = Factor which includes line losses

$Hu_n$  = Hours of annual use (lineal variation)

3000 = Hours of annual use of public lighting

3000 = Horas de utilización anual del alumbrado público

Máxima Demanda del Sistema, para el año n:

$(MDS)_n = (MDL)_n + \text{Pérdidas de potencia en la Subtransmisión.}$

Todos estos cálculos pueden realizarse mediante programas de computación. Es aconsejable esta práctica debido a lo tedioso de cálculos manuales.

No es aconsejable tomar como horizonte de proyección más de 20 años debido a la incertidumbre del mercado de tipo rural.

## **Criterios de Evaluación y Selección de Proyectos**

Es necesario evaluar y seleccionar los proyectos a fin de permitir el uso adecuado de los escasos recursos económicos y financieros y de la capacidad de construcción, de suministro y de fabricación local de equipos y materiales.

La evaluación y selección de proyectos permite obtener una lista priorizada de los mismos, que a su vez permite la programación anual de proyectos, de presupuestos, y la obtención de fondos, de aporte nacional y de préstamos externos y/o internos.

Los criterios de evaluación y selección son de tres tipos:

- Criterios técnicos
- Criterios económicos
- Criterios sociales.

En áreas rurales, donde se espera desarrollar el Programa de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas es muy difícil determinar parámetros económicos y sociales, principalmente debido a la falta de estadísticas.

A continuación se dan algunos de los criterios a emplearse en una evaluación preliminar:

### **1. Recurso Hídrico y Características Geológicas**

Peso  $X_1$

Puntaje, varía de 1 a 10 según el recurso hídrico y la geología estimadas, pudiéndose calificar en los planos de la Carta Nacional y Carta Geológica como malo, regular, bueno y muy bueno. Se prefiere, de ser posible considerar datos de mediciones de caudales medios anuales de los ríos existentes en la mini-region.

### **2. Topografía del Recurso Hídrico**

Peso:  $X_2$

El puntaje será variable de 1 a 10, de acuerdo a la pendiente estimada y topografía en

Maximum Demand of the System for year n:

$(MDS)_n = (MDL)_n + \text{Subtransmission losses in power}$

All the calculations can be processed with a computer program. It is recommended to use such a method due to the extensive calculations involved if done manually.

It is not advisable to take more than 20 years for the projections in view of the uncertainty of rural market development.

## **Evaluation Criteria and Selection of Projects**

It is necessary to evaluate and select projects to allow for the most advantageous use of the scant economic and financial resources and local construction capability, availability of materials and equipment. The evaluation and selection of projects will develop a prioritized list which, in turn, will permit the annual programming of projects, budgeting, allocation of funds, national support and external and/or internal loans.

The evaluation and selection criteria are of three kinds:

- Technical
- Economical
- Social

In the rural areas, where we hope to develop a small hydropower plant program, it is very difficult to determine economic and social parameters, mainly because of the lack of statistical data.

The following are some of the criteria to be employed in a preliminary evaluation:

### **1. Hydro resources and geological characteristics**

Weight  $X_1$

Scores vary in a scale from 1 to 10, depending on the hydraulic resources and the geology estimated by use of the national and geological maps. The classification would be bad, fair, good and very good. If possible, it is preferable to consider data relative to the annual average flow of the rivers in the mini-region under study.

### **2. Topography of the Hydraulic Resource**

Weight  $X_2$

Scores vary from 1 to 10 depending on the estimated slope and general topography of the potential site for the mini-hydropower plant. To a steeper slope



general de la zona probable a ubicarse la mini-central hidroeléctrica.

A mayor pendiente (menor longitud de canal) y topografía difícil, se asignará mayor puntaje. Este es un criterio técnico-económico.

### 3. Población Beneficiada

Peso:  $X_3$

El puntaje será variable entre 1 y 10 de acuerdo a la población, según rangos.

Este criterio tiene el carácter social de preferir a los sistemas en el cual se beneficie a mayor cantidad de habitantes no obstante que se incrementan las pérdidas económicas en la operación debido al alto costo de la energía -frente a las tarifas vigentes.

### 4. Densidad Poblacional

Peso:  $X_4$

El puntaje será variable de acuerdo al rango de habitantes/km<sup>2</sup>, de 1 para mini-regiones de baja densidad, a 10 para aquellas de mayor densidad.

Este criterio es económico debido a que mini-regiones de mayor densidad requerirán menor longitud de líneas de subtransmisión y de redes de distribución.

### 5. Demanda de Potencia

Peso:  $X_5$

El puntaje variable de 1 a 10 correspondiendo mayores puntos a las miniregiones de mayor demanda, debido a que a mayor demanda, el costo de la energía es menor y se brinda servicio a mayor número de habitantes,

### 6. Existencia y tipo de vías de acceso a la mini-región.

Peso:  $X_6$

El puntaje variará de 1 a 10 según el tipo de las vías de acceso; otorgándose mayor puntaje a los proyectos que tengan acceso mediante mejores vías.

Se asume miniregiones con acceso con mejores vías, tienen un mejor nivel económico.

### 7. Existencia de Servicio de Agua Potable

Peso:  $X_7$

El puntaje variable de 1 a 10 según el número de poblaciones con servicio de agua, correspondiendo mayor puntaje a las mini-regiones con mayor número de poblaciones con servicio.

Este es un criterio económico, pues se puede aceptar que las poblaciones con servicio de

(shorter length of the canal) and more difficult topography, a higher score should be assigned. This is a technical economic criterion.

### 3. Population Benefited

Weight  $X_3$

The score will vary between 1 and 10 depending on the population range. This criterion has a social character. It gives preference to the systems which would benefit a higher number of inhabitants, even though the economic losses in the operation are increased due to the high cost of energy in view of the existing tariff.

### 4. Population Density

Weight  $X_4$

The score will vary according to the range of inhabitants /km<sup>2</sup>, from 1 for mini-regions of low density to 10 for those of highest density. This criterion is economic in nature due to the fact that mini-regions of higher density will require shorter sub-transmission lines and a smaller distribution grid.

### 5. Energy Demand

Weight  $X_5$

The score will vary from 1 to 10, the highest scores going to mini-regions of greater demand, due to the lower cost of energy and the fact that service is provided to a larger number of people.

### 6. Existence and type of access roads to the mini-region

Weight  $X_6$

The score will vary from 1 to 10 depending on the type of access roads, assigning higher scores to the projects that have access through better roads. It is assumed that mini-regions with better access roads have a higher economical standard.

### 7. Existence of Drinking Water Service

Weight  $X_7$

A score from 1 to 10 will be assigned with higher scores to communities having water service, the higher scores will go to mini-regions with a larger population with water service. This is an economic criterion since it is assumed that communities having water service are at a higher economic level and have a higher probability of pay-

- agua tienen un mejor nivel económico y pueden tener mejores posibilidades de aporte para el proyecto y de consumo de energía.
8. Tasa Ponderada de Crecimiento Poblacional.  
Peso:  $X_8$   
El puntaje será variable de 1 a 10 de acuerdo a la tasa de crecimiento poblacional de las localidades de cada proyecto, correspondiendo los mayores puntajes a los de mayor tasa.  
Este criterio es económico-social al esperarse mayor densidad y brindar servicio a mayor población futura.
9. Proyectos de Sustitución de Energía Térmica por Hidroelectricidad.  
Peso:  $X_9$   
El puntaje varía de 1 a 10 según el número de poblaciones con servicio térmico a ser reemplazado en cada miniregión. Se otorgará mayor puntaje a la miniregión de mayor número de localidades con servicio térmico, siendo este un criterio económico.
10. Acceso a la posible Minicentral  
Peso:  $X_{10}$   
El puntaje varía de 1 a 10 según las facilidades de acceso (ninguno, senderos, caminos de herradura, carreteras sin afirmar, afirmada o asfaltada).  
A mejor acceso mayor puntaje, este es un criterio técnico-económico.
11. Topografía para Líneas de Subtransmisión  
Peso:  $X_{11}$   
El puntaje de 1 a 10, según la topografía donde se prevee se construirán las líneas de subtransmisión. La topografía para líneas se puede clasificar similarmente como en la de topografía general. A topografía más suave, se otorgará mayor puntaje, pues se presenta mayores facilidades de construcción y menores costos de construcción y mantenimiento.
12. Topografía General de la Miniregión  
Peso:  $X_{12}$   
El puntaje de 1 a 10, según el tipo de topografía, otorgándose el máximo a miniregiones de topografía sin casi accidentes de terreno o planas. La topografía puede clasificarse en muy accidentada, accidentada, regular, buena y plana.  
Este es un criterio técnico-económico. A mejor topografía, mayor facilidad de construcción y operación y menor inversión.
13. Número de Localidades ubicadas en la Miniregión.
- ing for the service provided by the project and of consuming energy.
8. Weighted Rate of Population Increase  
Weight  $X_8$   
The score will vary from 1 to 10 according to the rate of population increase in the localities of each project, the highest scores going to those of highest range. This criterion is socio-economic since a higher density will permit serving a higher number of people in the future.
9. Substitution of Thermal Energy for Hydropower Projects  
Weight  $X_9$   
The score will vary from 1 to 10 depending on the number of communities with thermal service to be replaced in each mini-region. Higher scores will be assigned to the mini-region with a higher number of localities with thermal service. This is an economic criterion.
10. Accessibility to the Potential Minicentral  
Weight  $X_{10}$   
The score will vary from 1 to 10 depending on access facilities (none, walking paths, horse trails, dirt roads, packed dirt roads, asphalt covered roads). The better the accessibility, the higher the score. This is a technical-economic criterion.
11. Topography for Subtransmission Lines  
Weight  $X_{11}$   
The score from 1 to 10 depends on the topography of the terrain where the subtransmission lines may be installed. A flat topography will get higher scores since construction is easier and construction and maintenance costs will be lower.
12. General Topography of the Mini-region  
Weight  $X_{12}$   
The score from 1 to 10 will vary according to the topography. The highest scores will be assigned to mini-regions with hardly any ruggedness in the terrain or those that are flat. The topography can be classified as very rugged, rough, fair, good and flat. This criterion is technical-economic. With better topography, there is greater facility for construction and operation and less investment.
13. Number of Communities Situated in the Mini-region.

Peso:  $X_{13}$

El puntaje de 1 a 10 otorgando más puntos a las miniregiones con más localidades.

Es necesario fijar valores a los Pesos (X), debiendo ser de más o menos de acuerdo al siguiente ordenamiento:

- Recurso hídrico y características geológicas
- Topografía del recurso hídrico
- Población Beneficiada
- Densidad Poblacional
- Demanda de Potencia
- Existencia y tipos de vía de acceso a la miniregión
- Existencia de servicio de agua potable
- Tasa Ponderada
- Sustitución de energía térmica
- Acceso a la posible central
- Topografía para líneas
- Topografía general de la miniregión
- Número de localidades (poblaciones) ubicadas en la miniregión.

De ser posible deben introducirse otros criterios como es la producción agropecuaria de cada región. La calificación con estos criterios permitirá una selección de los proyectos. La calificación será:  $\Sigma$  Pesos x Puntajes. La selección de los proyectos deberá hacerse en función de la calificación y de los recursos económico financieros disponibles y de ejecución de proyectos.

### **Criterios para la Conformación del Plan**

Como resultado de la evaluación y selección de proyectos debe conformarse un Plan de Minicentrales Hidroeléctricas, que en resumen será una programación en el tiempo de la construcción de las mismas y de las asignaciones presupuestales correspondientes.

Entre otros, los criterios principales son:

- 2.5.1 Disponibilidad de recursos económicos y financieros, de las fuentes de Tesoro Público, Recursos Propios, Endeudamiento Interno y Externo.
- 2.5.2 Resultado del reconocimiento en el campo de los recursos hídricos y de las características geológicas.
- 2.5.3 Capacidad de la Empresa para la dirección y/o supervisión de la implementación de los proyectos.

Weight  $X_{13}$

The score from 1 to 10 will give the highest scores to the mini-regions having a higher number of communities.

It is necessary to set values for the weights (X) and they should follow the following order:

- Hydro Resource and Geological Characteristics
- Topography of the hydraulic resource
- Population benefited
- Population density
- Energy Demand
- Existence and type of roads accessibility to the mini-region
- Existence of drinking water service
- Weighted rate of population increase
- Substitution of thermal energy
- Accessibility to the potential powerplant
- Topography for the lines
- General topography for the Mini-region
- Number of localities (communities) situated in the Mini-region.

Whenever possible, other criteria, such as agricultural and livestock production, should be introduced. Screening for qualification with the use of these criteria will permit the selection of projects. The criterion will be  $\Sigma$  Weights x Scores. The selection of projects should be done as a function of the qualification and the economic and financial resources available to implement the projects.

### **Criteria for the Design of a Plan**

As a result of the evaluation and selection of projects, there should be a plan of mini-hydropower plants which will represent a schedule for the construction of such plants and the corresponding budgetary allocations.

Some of the main criteria area, among others:

1. Availability of economic and financial resources, sources of public treasury, owned resources, internal or external loans.
2. Results of the field reconnaissance of the hydraulic resources and the geological characteristics.
3. Capability for directing and/or supervising the project implementation.
4. Availability within national limits of materials and equipment supply and manufacturing capacity.

2.5.4 Capacidad en el ámbito nacional del suministro de materiales y equipos y la capacidad de construcción.

## **Minicentrales Hidroeléctricas**

### **Rango de Potencias**

La mayoría de las miniregiones donde se prevé la construcción de Minicentrales, tienen una demanda máxima de potencia proyectada hasta 1000 kW. Sin ser limitativo, las centrales tendrán, en general, potencias inferiores a esta capacidad. Es conveniente estandarizar las potencias de los equipos y facilidades de mantenimiento, sin embargo debe evitarse escalones apreciables en los rangos de potencias a estandarizarse. Es aconsejable estandarizar potencias en función de las capacidades de los recursos hídricos y de las demandas proyectadas de potencia de las miniregiones. Se debe estudiar cual es el orden de demanda más reeplitivo en las miniregiones.

### **Inversiones**

Las inversiones requeridas para la construcción de minicentrales es muy variable, en función de las características y necesidades de obras civiles de cada proyecto. El costo de los equipos en general es más determinado, dependiendo de su calidad técnica y procedencia. Se puede mencionar referencialmente, que el costo directo varía entre 1,600 US\$/kW á 1000 US\$/kW para centrales de 50 kW á 1000 kW de potencia instalada.

Las inversiones en líneas de subtransmisión aunque variables de acuerdo a la topografía del terreno, son de más fácil estimación. El costo directo para las líneas de 13.2 kV (ó 10 kV) varía de 3,300 US\$/km para conductor AASC No. 6 AWG á 10,790 US\$/km para conductor AASC 4/0 AWG. Es necesario elaborar un Plan de Minicentrales para determinar las inversiones requeridas en este programa. Sin embargo, existen proyectos para su pronta implementación.

### **Costo de Energía**

No obstante ser las Minicentrales Hidroeléctricas la mejor alternativa de suministro de energía para las Miniregiones sin posibilidades de interconexión a sistemas eléctricos de mediana tensión existentes, el costo de la energía es alto principalmente debido al bajo consumo de los pobladores rurales. Por este motivo es necesario construir obras a mínimo costo y promover el consumo.

El costo de energía es superior en centrales más pequeñas y disminuye para centrales mayores. Por lo tanto se debe tratar de utilizar al máximo líneas de subtransmisión para abastecer el mayor número de

## **Minihydroelectric Powerplants**

### **Range of Power**

The majority of the mini-regions where construction of minihydroelectric power plants is foreseen have a maximum projected power demand of up to 1000 kW. Without this being restrictive, most of the stations will have a capacity below this power. It is convenient to standardize the capacity of the equipment and maintenance facilities, however, the range of powerplants to be standardized should be kept small. There is a need to research the most common order of demand in the mini-regions.

### **Investments**

The investments required for the construction of ministations varies a lot as a function of the characteristics of the civil works of each project. The cost of equipment in general is more stable, depending on the technical quality and country of origin. It may be mentioned for reference purposes that the direct cost will vary from US\$1,600/kW to US\$1,000/kW of installed capacity for stations from 50 kW to 1,000 kW.

Even though the investment in subtransmission lines varies depending on the topography of the terrain, is easier to estimate. The direct cost for lines of 13.2 kV (or 10 kV) varies from US\$3,300/km for ACSR No. 6 AWG conductor to US\$10,790/km for ACSR 4/0 AWG. It is necessary to design a plan for ministations to determine the investments required in this program. However, there are projects for implementation in the near future.

### **Energy Cost**

Mini-hydroelectric power plants are the best alternative for energy supply to those mini-regions that have no possibility of interconnection to existing electric systems of medium voltage. However, the cost is high, mainly due to the low level of use by the rural population. For this reason, it is necessary to build minimum cost installations and to promote consumption.

The energy cost is higher at smaller stations and it decreases for higher capacity stations. Therefore, an effort should be made to optimize the use of subtransmission lines to supply the largest number possible of localities from a single station. The cost of subtransmission is much lower than the cost of generation. From

localidades posibles desde una sola minicentral. El costo por subtransmisión es muy inferior al costo de generación. Del análisis de costos se concluye:

1. Que el costo de subtransmisión es muy inferior al de generación.
2. Que a mayor tamaño de la central, es menor el costo de la energía.

Por tanto se recomienda:

1. Utilizar al máximo la interconexión entre localidades mediante líneas, tratando que un número máximo de pueblos sean abastecidos desde una sola central. Se debe evitar la construcción de más de una minicentral dentro de una región. Sólo en casos de localidades completamente aisladas debe construirse minicentrales de potencia mínimas.
2. Cuando técnicamente sea posible, construir por etapas, el análisis de costos hace evidente la necesidad de valorar y seleccionar proyectos, debiendo darse prioridad a los proyectos de mayor calificación.

### **Comparación con otras Alternativas de Suministro**

Como se mencionó en el capítulo No 1 las fuentes de energía utilizadas en el Perú para electrificación rural son:

- Generación Térmica
- Generación Hidráulica
- Interconexión

En general se puede concluir que debido a los precios del petróleo, inciertos y cada día más elevados, la generación térmica es la alternativa menos recomendada, debiendo limitarse solo a aquellas miniregiones donde no exista otra alternativa.

La interconexión de un Pequeño Sistema Eléctrico a un Sistema Principal, cuando éste sea vecino, y mediante líneas, de preferencia de 13.2 kV (ó 10 kV), es la más conveniente; en algunos casos puede alcanzarse el nivel de 33 kV. Para miniregiones donde no sea posible la interconexión, la generación hidráulica es la más económica. En resumen, para cada miniregión debe estudiarse las alternativas de suministro.

### **Fuentes de Financiamiento**

En diciembre de 1978, por Resolución Ministerial No. 1475-78-EM-OSP se creó el Fondo para la Electrificación con pequeñas Centrales Hidroeléctricas, debiendo ELECTROPERU destinar el 15% de su renta anual y de la utilidad que le corresponda por su participación accionaria en las

the cost analysis, we come to the conclusion that:

1. Subtransmission costs are lower than generation costs.
2. The larger the capacity of the power plant, the lower the cost of energy.

Therefore it is recommended:

1. To maximize interconnection between localities through transmission lines so that a maximum number of communities receive energy supply from only one power plant. Construction of more than one ministration in the same region should be avoided. Only in cases of completely isolated localities should ministrations of minimal capacity be installed.
2. Whenever it is technically possible, installation should be done in stages. Cost analysis makes evident the need for evaluation and selection of projects, giving priority to those scoring the highest.

### **Comparison with other Alternative Sources**

As mentioned earlier, the sources of energy used in Peru for rural electrification are:

- thermal generation
- hydraulic generation
- interconnection

In general, we may conclude that due to the present day prices of petroleum, uncertain and higher every day, thermal generation is the least advisable alternative and it should be limited to those mini-regions where other alternatives are unavailable.

The interconnection of a small electric system to a bulk system, when this is nearby, by means of lines preferably of 13.2 kV (or 10 kV), is the most convenient. In some cases the voltage may go up to a level of 33 kV. For mini-regions where interconnection is not feasible, hydropower generation is the most economical. In summary, for each mini-region the alternative sources for supply should be researched on their own merits.

### **Sources of Financing**


In December 1978, by Ministerial Resolution No. 1475-78-EM-OSP, a fund was created for electrification using small hydroelectric powerplants whereby Electroperu should assign 15% of its annual revenues plus the dividends accrued in other public utility enterprises. This

demás empresas de servicio público de electricidad como dotación a dicho fondo.

Por la magnitud del Programa y por ser el fondo dependiente de las tarifas de venta de energía, que actualmente no permiten a Electroperú contar con una renta adecuada, es necesario recurrir a fuentes financieras tanto en el ámbito nacional como internacional.


Es recomendable concertar préstamos blandos que cubran el 75% de la inversión y que tengan un largo período de gracia (10 años) y de amortización (mínimo de 20 años) con tasa de interés del 2%. Las fuentes financieras que pueden otorgar estas facilidades son las agencias de Cooperación de los gobiernos, por ejemplo AID del Gobierno de Estados Unidos de Norte América y la KFW y GTZ de la República Federal de Alemania.

Para que Electroperú pueda satisfactoriamente implementar el Programa, el Gobierno Central debe asegurar el Aporte del Tesoro Público para la Electrificación Rural.



funding source for Electroperu is inadequate since it depends on the tariffs levied on the sale of energy. This circumstance, coupled with the magnitude of the program to be undertaken, makes it necessary to resort to financing both at national and international levels.

Soft loans to cover 75% of the investment, with a grace period of 10 years and installment payments spread over a minimum of 20 years at 2% interest, should be negotiated. Funding sources which can provide such conditions are cooperative government agencies such as USAID, KFW and GTZ of the Federal Republic of Germany.



# Microgeneración y Desarrollo

Eduardo Morán

---

La provisión de electricidad a áreas rurales es un problema que debe ser considerado de manera integral en contexto de lo que está ocurriendo en un área al presente y lo que pudiera suceder si se instalara la electricidad. Este es el mensaje que Eduardo Morán presentó a la Conferencia. El bosquejó cuatro objetivos que se deben considerar en tales proyectos.

---

La realidad nacional del área rural está representada por una dispersión grande de sus pobladores en agrupaciones de menos de 500 habitantes, la cual no ha permitido que estos obtengan los beneficios derivados del desarrollo económico de los últimos años, y de la energía eléctrica en particular. Esta última situación se agrava debido a la imposibilidad de dar servicio eléctrico mediante la extensión de los sistemas centralizados.

Por lo tanto, en el Ecuador a menos que se emprenda con un programa de electrificación rural en gran escala basado en sistemas descentralizados, e seguirá marginando del desarrollo económico y social a un porcentaje elevado de sus poblados.

Con esta realidad en mente, el gobierno, a través de sus organismos especializados de planeación y ejecución de programas de energía eléctrica como son INE e INECEL, ha emprendido la realización de un programa de mini y microgeneración que permitirá hacer realidad los siguientes objetivos, los cuales concuerdan con los objetivos del plan de desarrollo nacional.

- 1. Dotación de energía para hacer posible el desarrollo integral de un gran número de comunidades, y/o asentamientos rurales, especialmente los marginados del bienestar socio-económico.**

La energía como factor de desarrollo integral, tiene una concepción diferente al que ha venido empleándose en nuestros países. Esta nueva concepción implica el tratar toda la estructura social, económica, cultural y física de un asentamiento humano como un sistema integrado, en el que para incluir el factor

# Microgeneration and Development

Eduardo Morán

---

The provision of electricity to rural areas is a problem best considered in the context of what is currently occurring in an area and what might happen if electricity is installed. This is the message Eduardo Moran presented at the Conference. He outlined four objectives that should be considered in such projects.

---

The reality of Ecuador's rural areas is represented by a dispersion of the population in groupings of 500 or less. This has not permitted them to obtain the benefits derived from the economic development of the last few years, and in particular, electric power. This situation is serious due to the impossibility to provide electrical service by extension of centralized systems. Therefore, Ecuador will continue to provide marginal service to a high percentage of its villages unless we embark in a large scale rural electrification program based on decentralized systems.

The government, keeping this reality in mind, working through its specialized agencies for planning and implementation of electric power programs, such as the Instituto Nacional de Energia (INE) and the Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), has initiated the development of a program of mini and microgeneration to accomplish the following objectives in line with the national development plan.

- 1. Provide energy to facilitate integrated development of a great number of communities and/or rural settlements, especially those marginal to the socio-economic welfare.**

Energy as a factor in integrated development has a different philosophy than what has been common practice in our countries. This new conception establishes the need to study the whole social, economic, cultural and physical structure of a human settlement as an integrated system. To be able to study the impact of electrification

energético habrá que estudiar la incidencia de este en todo el sistema.

Esta visión integral de la energía como factor del desarrollo presenta una serie de problemas para la implementación de su utilización, tales como: la necesidad de la creación de una metodología racional para el estudio de la demanda, en base a la consideración de todos los elementos anteriormente mencionados, a la vez que a las proyecciones de las actividades productivas que el sistema pueda generar, lo que nos permitirá inclusive tener ideas sobre las posibilidades de financiación de programas de difusión energética en gran escala, ya que el Instituto Nacional de Energía piensa que el desarrollo que no es autosostenido no tiene el carácter tal.

Un sistema integral también contempla la necesidad de hacer que el desarrollo se produzca en armonía con el medio ambiente, siendo ésta una posibilidad real en sistemas de micro y minigeneración, en los cuales no producen los impactos negativos asociados muchas veces a los grandes proyectos de energía.

En general la energía deberá constituirse en una parte integrante de la comunidad para lo cual es importante que ésta haya participado en forma activa en las etapas de la energización, de forma tal que, el desarrollo energético sea considerado como un logro de la propia comunidad.

## **2. Desarrollo de una tecnología apropiada para todas las fases de la implementación del plan de mini y microgeneración en gran escala.**

El concepto de tecnología apropiada no implica desde ningún punto de vista una simplicidad manual para la construcción o ignorancia de conocimientos científicos o técnicos básicos para la producción o instalación de un sistema. Como nosotros la concebimos, implica llegar a un conocimiento profundo de las técnicas de investigación, construcción, materiales y en general una asimilación de conocimientos y una implantación o creación en base a los mismos de un sistema que esté acorde con una realidad nacional, a lo que en caso necesario habrá que cambiarla si se quiere que exista la posibilidad de generar tecnología apropiada.

Así por ejemplo todo lo que implica simulación de modelos, estudios sistemáticos de micro y minicuenas, modelaje y escalado, análisis dimensional, todas son partes inherentes al proceso de creación de tecnología apropiada por lo que, creemos que ésta es uno de los caminos que permitirá llevar a un país a

it will be necessary to study the effects on the total system.

This integral vision of energy as a development factor presents a series of problems in its implementation. There is the need to create a reasonable methodology for the study of electrical demand, based on the consideration of all the previously mentioned elements. At the same time, projections have to be made of the productive activities which the system could generate. These would bring about the ability to predict possible financing programs for large scale energy extension programs. The National Institute of Energy believes that a development which is not self-sustaining does not have such a character.

An integral system also contemplates the need for development in harmony with the environment, this being a real possibility in systems of micro and mini-generation. These do not produce the negative impacts generally associated with large energy projects.

In general, energy should constitute an integral part of the community. It is essential for that purpose that its members participate actively during the planning period. The development itself should be considered an accomplishment by the community.

## **2. Development of an adequate technology to encompass all phases of the implementation of large scale mini and micro-generation.**

The concept of adequate technology is no way implies a manual simplicity in actual construction. Nor does it imply scientific and technical knowledge basic for the production or installation of a system. As we conceive it, the requirement is to obtain a profound knowledge of the technology for investigation, construction, materials and, in general, assimilation and integration of knowledge, to create a system in line with the national reality which might even need to be changed so that we can generate power using the adequate technology.

As an example, from simulation models to systematic studies of mini and micro basins, demonstration and installation, size analysis, all are inherent parts to the process of creation of adequate technology, which is one of the paths that will permit the country to bring about real



un verdadero desarrollo tecnológico basado en sus capacidades humanas y materiales.

**3. Desarrollar una producción nacional basada en una tecnología apropiada con el fin de cubrir la demanda de equipos que generará la implementación del plan generará.**

La investigación aplicada y el desarrollo de una tecnología sin una subsecuente producción en cantidades apreciables de los artefactos o equipos resultados de éstas, no representa avance alguno para un país, ya que, en caso de no producirse esta etapa de industrialización, la demanda será cubierta por equipos importados, los que pensamos serán necesarios pero solamente en las primeras etapas del plan.


El reforzamiento de la industria metalmeccánica grande y pequeña del país que el programa de microgeneración puede producir, será importante de evaluar, por lo que, el estudio de factibilidad para la producción nacional tiene una de las prioridades muy grandes en los planes de INE-INECEL.

**4. Creación de grupos interdisciplinarios permanentes tanto de individuos como de instituciones para la investigación y el desarrollo continuo de tecnología en este campo.**

La investigación y el desarrollo tecnológico así como el alcanzar la etapa de industrialización implican la creación y sustento del interés de estos tópicos por un grupo de individuos o instituciones que permitan el inicio, sustento y desarrollo de las mismas. Es — como un físico diría — el conformar una "masa crítica" sin la cual no se podrá producir la explosión creativa de la tecnología en todas sus fases.

Creemos que en el caso de las tecnologías de microcentrales, una aproximación a esta masa crítica es el grupo nacional reunido en este seminario, el cual esperamos sea un aporte más para producir los efectos anteriormente expuestos.

Así los grupos deberán comprender una gran diversidad de profesiones técnicas, económicas y sociales, los cuales reunidos con el objeto de lograr objetivos definidos como es el caso del programa de microcentrales, serán posiblemente capaces de hacerlos una realidad.



technological development based on its human capabilities and materials available.

**3. Development of domestic equipment production based on adequate technology for the purpose of covering the demand which will be generated from the implementation of the plan.**

The applied research and development of a technology without subsequent production of the resultant devices and equipment in significant quantities represents no development for the country since, if this industrialization stage is missing, the demand would be covered by imported equipment, and we hope this will only be necessary during the initial phases of the plan.


It is important to evaluate the reinforcement of the metal machine tool industry in small and large scale that the microgeneration program can produce since the feasibility of domestic production is one of the highest priorities in the plans of INE-INECEL.

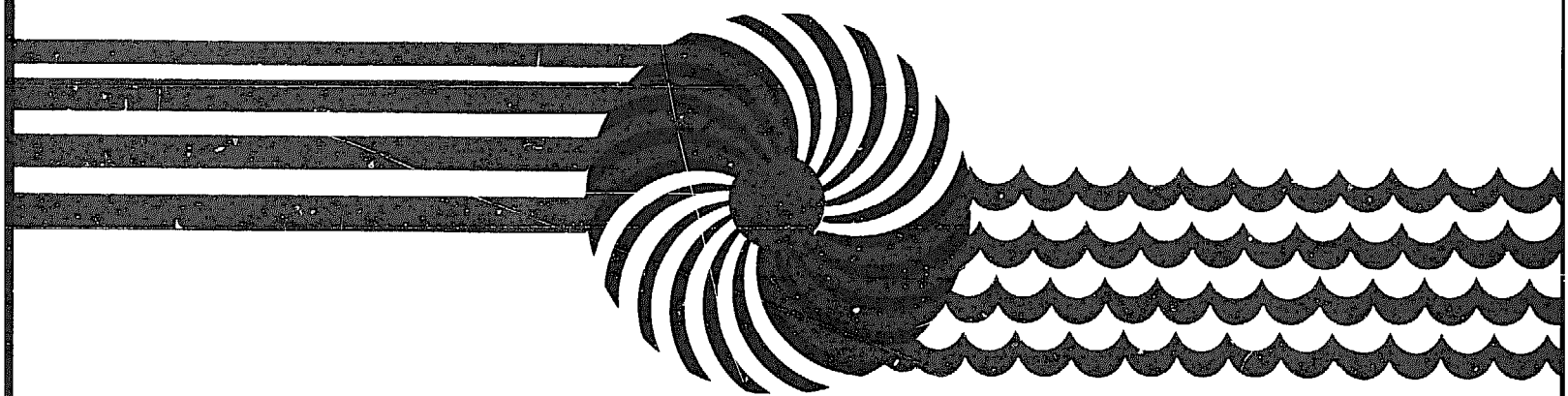
**4. Creation of permanent interdisciplinary groups of individuals and/or institutions to maintain on-going research and development of the technology in this field.**

The research and development of the technology as well as bringing it to the industrialization stage implies the creation of and maintenance of interest in these topics by a group of individuals or institutions to promote the initiation, development and support of them. In the saying of a physicist, this will yield the "critical mass" without which he could not produce the creative explosion of technology in all its facets.

We believe that in the case of microhydropower technology, an approximation of this critical mass is constituted by the group of people gathered together in this seminar, which we hope to be one contribution toward producing the effects we talked about previously.

The groups should encompass a great diversity of technical, economic and social professions gathered together for the purpose of accomplishing definite objectives, such as the development of microhydropower plants, to allow them to become a reality.





**Reuniones Paritarias**

**Roundtable Discussions**

**5**

## **Discusión de Mesa Redonda No. 1: Cuestiones de Administración en Plantas Hidroeléctricas Pequeñas**

### **Participantes de la Mesa Redonda:**

**Geoffrey Smith, NRECA, USA, Moderador**

**Ray Holland, ITDG, Great Britain**

**José Willy Flores, NRECA, USA**

**Ramón López-Rivera, Banco Internacional de  
Desarrollo, USA**

**Salvatore Liberatore, Banco Mundial, USA**

**Donal O'Leary, NRECA, USA**

**Carlos Quevedo, INE, Ecuador**

## **Panel Discussion No. 1: Management Issues in Small Hydro**

### **Panel Participants:**

**Geoffrey Smith, NRECA, USA Moderator**

**Ray Holland, ITDG, Great Britain**

**José Willy Flores, NRECA, USA**

**Ramón López-Rivera, International  
Development Bank, USA**

**Salvatore Liberatore, World Bank, USA**

**Donal O'Leary, NRECA, USA**

**Carlos Quevedo, INE, Ecuador**

La electrificación rural, particularmente el desarrollo hidroeléctrico en pequeña escala, es parte de un esfuerzo mayor para conseguir el desarrollo socio-económico. Este es el tema de la discusión de mesa redonda sobre cuestiones de administración en la planificación y desarrollo de hidroeléctricidad en pequeña escala. Varios de los panelistas expresaron que los beneficios sociales del desarrollo hidroeléctrico en pequeña escala deben ser los incentivos primordiales para este tipo de desarrollo. Las proporciones evidentes de inmediato de costo a beneficios utilizadas en la planificación con frecuencia han ignorado los beneficios sociales a largo plazo que resultan a consecuencia de la electrificación rural.

De acuerdo a José Willy Flores, el hecho de que un proyecto sea o no apenas factible económicamente no es necesariamente justificación para no proseguir con el desarrollo de pequeños proyectos hidroeléctricos. En general, los proyectos hidroeléctricos pequeños benefician a las comunidades aisladas de bajo ingreso. Las metodologías derivadas teóricamente, que se usan en la planificación y justificación de un proyecto deben ser alteradas para ajustarse a la situación en muchos casos. Por ejemplo, los análisis de costo beneficio deben ser calculados sobre un período de la vida de un proyecto, que vayan más allá de los cánones tradicionales.

El señor Flores remarcó que la factibilidad económica de muchos, si no de la mayoría, de estos proyectos es altamente cuestionable. No obstante, él mencionó un proyecto en el Perú, donde el uso de la mano de obra de voluntarios con el beneficio de la ex-

Rural electrification, particularly small hydroelectric development, is a part of a larger effort to achieve economic and social development. This is the theme of the panel discussion on management issues in small hydro planning and development. Several of the panelists noted that the social benefits of small hydro development should be the primary motivators for this type of development. The immediately evident cost/benefit ratios used in planning have often ignored the long-range social benefits that result from rural electrification.

That a project may not or may just barely be economically feasible is not necessarily justification for not moving forward in the development of small hydroelectric projects, according to Mr. Jose Willy Flores. In general, small hydro projects benefit isolated, low-income communities. The theoretically-derived methodologies used in project planning and justification have to be altered to fit the situation in many cases. For example, cost-benefit analyses have to be programmed to extend the project lifespan beyond traditional boundaries.

Mr. Flores noted that the economic feasibility of many, if not most, of these projects is highly questionable. However, he cited a project in Peru where the use of volunteer labor, "experience-building" benefits and a non-traditional approach resulted in a successful project.

perencia en la construcción y un método no convencional resultaron en un proyecto con mucho éxito.

La metodología tradicional para los proyectos de obras públicas — enfocados en la ingeniería y la economía — no es la recomendada por el Sr. Donal O'Leary. Un buen programa incluirá una metodología multidisciplinaria. Es generalmente aceptado que los ingenieros, hidrólogos, geólogos y economistas son vitales al desarrollo de un programa hidroeléctrico. Lo que a menudo falta, sin embargo, es la contribución de los trabajadores sociales, especialistas en el desarrollo rural, expertos en la ciencia del ambiente, y agrónomos. Los últimos tienen el papel importante de asegurar que se hagan los mayores usos posibles de las facilidades y de la electricidad originada por los proyectos hidroenergéticos. Estos tipos de expertos especializados son los mejor equipados para promover usos productivos.

El uso de las aguas en la irrigación y pequeñas plantas hidroeléctricas ilustran los intereses que a menudo compiten en un ambiente rural. Un proyecto hidroeléctrico que tenga éxito ha de prestar consideración a las cuestiones institucionales tales como ésta, de tal modo que el proyecto pueda ser desarrollado dentro de un sistema cooperativo.

De acuerdo al Sr. Ray Holland, hay pocas diferencias esenciales entre el desarrollo público y el privado para pequeñas centrales hidroeléctricas. Hablando sobre sus recientes experiencias en Colombia, él dice que los problemas comunes pueden ser superados. Por supuesto, los costos son los problemas más grandes. La involucración de la comunidad — en ausencia de una fuente única de financiamiento externo — es esencial. Este es el elemento al cual los expertos privados en el desarrollo deben prestar consideración inicial. Sin algún involucrimiento de la com-

mayoría de los proyectos se convertirían en un fracaso.

Si un proyecto debe ser financiado externamente por intermedio de instrumentos de deuda, hay financiamiento internacional disponible para dichos proyectos. El Sr. Ramón López-Rivera relató la experiencia del Banco Interamericano de Desarrollo (IDB) en la financiación de pequeños proyectos hidroeléctricos. Él indicó que la decisión de ayudar a un proyecto es usualmente basada en el análisis de cómo el proyecto coordina con los programas de desarrollo nacional o regional de área. El IDB enfoca en la evaluación económica y técnica del proyecto, pero él nota que un elemento clave en el análisis es la capacidad del proyecto para satisfacer las demandas

The traditional approach to public works projects — centered on engineering and economics — is not the approach recommended by Mr. Donal O'Leary. A good program will be multidisciplinary in its approach. It is generally accepted that engineers, hydrologists, geologists and economists are vital to a hydroelectric development program. What is often missing, however, is the contribution of social workers, rural development specialists, environmental scientists and agronomists. The latter have the important role of ensuring that the best possible uses are made of the facilities and electricity created by the hydro project. It is these types of specialists who are best equipped to promote productive uses of the projects.

Irrigation and small hydro uses of water illustrate the often competing interests in the rural setting. A successful hydro project will give consideration to institutional issues such as this so that the project can be developed within a cooperative framework.

According to Mr. Ray Holland, there are few essential differences between public and private development of small hydro. Speaking from his recent experience in Colombia, he stated that the common problems can be overcome. Costs are, of course, the largest problem. Community involvement — in the absence of a single, external financing source — is essential. This is the element to which private developers must give their initial consideration. Without some community involvement in fund raising, most projects become unworkable.

If a project is to be funded externally through debt instruments, then there are international lenders available for project participation. Mr. Ramon Lopez-Rivera reviewed the experience of the Inter-American Development Bank (IDB) in financing small hydro projects. He indicated that the decision to support a project is usually based on an analysis of how the project fits into an overall national or regional development plan. The IDB does stress economic and technical project evaluation, however, he noted that a key element in its analysis is the capability of the project to meet greater demands in the future. Experience has taught the IDB that electricity demand tends to grow faster than originally anticipated.


Mr. Salvatore Liberatore stressed that the definition of small hydro can vary considerably.

crecientes en el futuro. La experiencia ha enseñado al IDB que la demanda normalmente crece más allá de lo que se había anticipado originalmente.

El Sr. Salvatore Liberatore puntualizó que la definición de pequeñas plantas hidroeléctricas pueden variar considerablemente. En el extremo superior del rango, se los evalúa de modo similar a cualquier proyecto hidroeléctrico de mayor escala. Los proyectos de menor escala son evaluados como parte de un diseño de mayor escala y son considerados como desarrollo rural y no como proyectos generadores de energía.

Ambos representantes bancarios hablaron sobre la flexibilidad de la metodología para el desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas. Los usos múltiples de la inversión de un proyecto dentro de una infraestructura promotora constituyen un requisito para el éxito de los pequeños proyectos de desarrollo hidroeléctrico. El tamaño de los proyectos, el desarrollo de estructuras y procesos apropiados para administración, operación y mantenimiento, y las relaciones con la comunidad, son elementos del funcionamiento que han de mantener la productividad del proyecto a través del tiempo.


Quien ha de ejercer control sobre un proyecto es una cuestión que atrajo considerable participación de la audiencia de esta mesa redonda. Una recomendación que ha sido implementada en el Perú es que el estado controle el desarrollo y exista control local o de la comunidad sobre el continuo funcionamiento regular. Panamá mantiene un control central sobre las instalaciones hidroeléctricas pequeñas diseminadas en todo el país. Las cuestiones a ser balanceadas en cualquier situación dada son los beneficios de standardización y los mas grandes recursos ofrecidos por las organizaciones centralizadas versus el mayor involucimiento de la comunidad y los menores gastos de administración asociados con el control descentralizado



At the upper end of the range, these projects are evaluated in a similar manner as large-scale hydro projects. Smaller scale projects are evaluated as part of a larger development scheme and are seen as rural development, not power generation projects.

Both bank representatives stressed a flexible approach to small hydro development. Multiple uses of a project's investment within a promotive infrastructure is a requirement for success in small hydroelectric development. The sizing of projects, development of appropriate management and maintenance structures and processes, and community relations are the operational elements that will maintain a project's productivity over time.

Who will exercise control over a project is a question that drew considerable audience participation during this panel. One recommendation that has been implemented in Peru is state control of development and local or community control over continued operations. Panama is maintaining central control over the many small hydro installations spread throughout the country. The issues to be balanced in any given situation are the benefits of standardization and greater resources offered by centralized organization versus the greater community involvement and lower overhead associated with decentralized control.



## **Discusion de Mesa Redonda No. 2: Otros Aspectos del Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**

### **Participantes de la Mesa Redonda:**

**Carlos Quevedo, INE, Ecuador, Moderador**

**Alfredo Ayora, Consultante IDCO, Ecuador**

**Hector Viteri, INECCEL, Ecuador**

**Lenín Ubidia, Universidad Politécnica,  
Ecuador**

**Eduardo Morán, INE Ecuador**

**Mark Henwood, Auslam y Associates,  
Inc., USA**

Cuando se ha tomado la decisión de seguir adelante con el desarrollo de plantas hidroeléctricas pequeñas, muchos aspectos han quedado pendientes. Esta discusión de mesa redonda enfocó en algunas de estas cuestiones.

La cuestión primordial es si la tecnología requerida y la experiencia han de ser importadas o desarrolladas localmente. Conforme a la presentación del Ing. Carlos Quevedo, hay conflicto entre la velocidad con que se puede desarrollar un proyecto mediante la importación de los equipos, y la dispersión de otros beneficios resultantes del desarrollo de la experiencia e industria locales. En cualquier contexto, se debe tomar una decisión en cuanto a la manera de equilibrar estos dos métodos.

El Ing. Eduardo Morán desarrolló esta tesis dando énfasis a la necesidad de la planificación de alto nivel. Las comunidades financiera e industrial, así como las agencias gubernamentales, deben participar en la solución del problema. Él advirtió que este tipo de proyecto presenta una oportunidad perfecta para desarrollar, no sólo la capacidad de generación de energía, sino también una infraestructura tecnológica. el objetivo a nivel nacional es el de hacer óptimo uso de la tecnología aportada por otros países en el contexto del desarrollo integral de la energía.

Dado el conocimiento de qué tipo y cantidad de equipo se requiera, el Ing. Morán anticipó que si se dan tres a cuatro años para la investigación y el desarrollo, la mayor parte de los equipos podrán ser producidos internamente. Aunque podría ser más fácil importar 100 o 200 turbinas, se perdería una gran oportunidad para el desarrollo. en línea con su

## **Panel Discussion No. 2: Other Aspects of Small Hydro Development**

### **Panel Participants:**

**Carlos Quevedo, INE, Ecuador, Moderator**

**Alfredo Ayora, IDCO Consultants, Ecuador**

**Hector Viteri, INECCEL, Ecuador**

**Lenin Ubidia, Universidad Politecnica,  
Ecuador**

**Eduardo Moran, INE, Ecuador**

**Mark Henwood, Auslam and Associates, Inc.,  
U.S.A.**

When the decision has been made to pursue small scale hydroelectric development, a number of issues remain to be settled. This panel focused on some of these issues.

The primary issue is whether the required technology and skills should be imported or developed locally. As Eng. Carlos Quevedo presented the problem, there is a conflict between the speed of development made possible by importation of equipment and the dispersion of other benefits resulting from the development of local experience and industry. In any context, a decision has to be made as to how these two approaches will be balanced. Eng. Eduardo Moran developed this thesis by emphasizing the need for high level planning. The local financial and industrial communities, as well as government agencies, must participate in solution of the problem. He pointed out that this type of project is a perfect opportunity to develop, not only generating capacity, but also a technological infrastructure. The objective at the national level is to optimize the countrywide mix in the context of total power development.

Given the knowledge of what type and amount of equipment is required, Eng. Moran anticipated that, allowing three to four years for research and development, much of the equipment could be produced internally. While it might be easier to import 100 or 200 turbines, a great development opportunity would be lost. In line with its national plan, Ecuador is emphasizing local production of hydropower equipment. Financing is

plan nacional, el Ecuador da énfasis a la producción local de equipos para energía hidroeléctrica. Así el financiamiento es destinado a la manufactura de equipos en vez de a la importación del equipo. Uno de los beneficios de esta estrategia es la eventual oportunidad para exportar, inherente en el desarrollo de la infraestructura para fabricación local.

Los estudiantes de la Universidad Politécnica están envueltos en el estudio de la tecnología hidroeléctrica, según nos cuenta el Prof. Lenin Ubidia. La universidad está trabajando hacia el momento cuando podrán trabajar con las formas disponibles de la tecnología hidroeléctrica. No obstante, por de pronto se deben restringir a las formas más simples. El Prof. Ubidia sugirió que sería importante fabricar una turbina que pueda tener un 10% o 20% menos del rendimiento de una turbina óptima importada, beneficiando así a la manufactura local.

La universidad está actualmente en proceso de probar el control de carga desarrollado localmente. De este modo se podrán resolver los problemas de fabricación en el Ecuador de los pequeños proyectos hidroeléctricos independientemente de los abastecedores extranjeros.

El Prof. Alfredo Ayora ilustró que tal esfuerzo local puede producir cantidades significativas de electricidad con un método de costo efectivo. El describió un proyecto existente en el Ecuador desde los principios de 1970 que está produciendo 350 kW de electricidad por menos costo que la producida por el gobierno. Aunque fué desarrollado por una industria privada, este proyecto involucró considerable esfuerzo voluntario de la comunidad.

La estrategia utilizada enfocó en soluciones prácticas en la planificación y en el óptimo uso de los recursos disponibles. Ciertos alumnos de la Universidad Católica presentaron este proyecto como su tesis de grado. Con excepción de la importación de la turbina que vino de Alemania y el cemento, una mezcladora de hormigón y las varillas de hierro que fueron transportados desde Quito, todos los otros materiales y la mano de obra utilizados en el proyecto provinieron de la localidad.

El resultado fué la generación eléctrica práctica, no un proyecto que asombrara al mundo con su modelo de ingeniería, con los resultantes costos elevados. El financiamiento de la obra fué concedido por la Corporación Financiera Nacional. Se anticipa que en 1981 se hará el pago final sobre dicha deuda (originalmente de 6,000,00 de sucres). El costo pro-

sought for equipment manufacture rather than for the importation of equipment. One of the benefits of this strategy is the eventual export opportunities inherent in development of the local manufacturing infrastructure.

Students at the Polytechnic University are involved in the study of hydropower technology, according to Professor Lenin Ubidia. The university is working toward the time when they will be able to work with the available forms of hydro technology. For now, however, they must restrict themselves to the simpler forms. Prof. Ubidia suggested that it is worthwhile to give up 10 to 20 percent in operating efficiency for the benefit of local manufacturing.

The university is in the process of testing locally-developed speed and load controllers. This accomplishment is a critical element in making Ecuador's small hydro projects independent of foreign suppliers.

That such a local effort could produce significant amounts of electricity in a cost-effective manner was illustrated by Professor Alfredo Ayora. He described a project in place in Ecuador since the early 1970's that is producing 350 kW of electricity for less cost than that produced by the government. While privately developed, this project involved considerable community and volunteer effort.

The strategy used in the project centered on practical solutions in planning and best use of available resources. Students at the Catholic University were involved as a senior thesis project. Except for the importation of the turbine from Germany and cement, a cement mixer and reinforcing bars from Quito, all other materials and labor used were local.

The result was practical electrical generation, not a showcase project with the attendant high costs. Financing for the project was obtained from the National Financing Corporation. In 1981, it is expected that the final payment on that debt (originally 6,000,000 sucres) will be made. The cost of the 3,000,000 kWh per year project amounted to US\$686 per installed kW.

INECEL is working to make sure that projects such as the one above are not exceptions, reported Eng. Hector Viteri. He suggested that there are 800-1,000 sites in Ecuador capable of supporting 100 kW hydroelectric plants based on a hydrographic survey INECEL is conducting. Plants ranging in size from 30 kW to 300 kW will

yectado de 3,000,000 kWh por año resultó en US\$686 por kW instalado.

El Ing. Hector Viteri nos informa que el INECEL está trabajando para asegurar que proyectos tal como el descrito más arriba no constituyan una excepción. El sugirió que hay de 800 a 1,000 lugares en el Ecuador, capaces de soportar plantas hidroeléctricas de 100 kW. Su información está basada en una inspección hidrográfica que está siendo conducida por el INECEL. Se necesitarán plantas que varíen en tamaño de 30 kW a 300 kW para que la vida rural se más productiva. Esta es una consideración importante en un país en desarrollo donde hay intensa migración de las áreas rurales a las ciudades.

La paulatina detención del porcentaje de la migración de las poblaciones rurales a las áreas urbanas es uno de los beneficios del desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas. Desafortunadamente, es un beneficio que no es fácil de evaluar siguiendo el análisis tradicional de costo y beneficio. Esto de nuevo demuestra la necesidad de flexibilidad en el planeamiento e implementación de pequeños proyectos hidroeléctricos.

Basado en su experiencia en el desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas, el Sr. Mark Henwood reiteró la importancia del involucramiento de la comunidad tanto en proyectos auspiciados públicamente como en los privados.

be needed as a means of making rural life more productive. That is an important consideration in developing countries where there is extensive migration from rural areas to the cities.

Slowing the rate of migration of rural populations to urban areas is one benefit of small hydro development. Unfortunately, it is a benefit that is not easily evaluated in traditional cost-benefit analysis. This again illustrates the need for flexibility in the planning and implementation of small hydroelectric projects.

Based on his experience in small hydro development, Mr. Mark Henwood reiterated the importance of community involvement in both publicly and privately-sponsored projects.





## Glosario

Selectivamente escogido y modificado de la "Introducción General y Definición Hidrológica, U.S.G.S. Documento sobre Suministro de Agua 1541-A, por W.B. Langbein y K.T. Iseri, y del "Asesoramiento Hidroeléctrico y Aplicaciones para Préstamos del Departamento de Energía," por H.L. Magleby, Spokane, Wash., 1980)

**Pez Anádrom** — pez, tal como el salmón, que asciende río arriba del mar en ciertas estaciones para depositar huevos.

**Desborde Anual** — la punta mas alta de la descarga del agua en un año.

**Serie de Desborde Anual** — una lista anual de inundaciones.

**Índice Antecedente de la Precipitación** — Un índice de humedad almacenada dentro de un canal de drenaje antes de una tormenta.

**Curva de la Capacidad de un Area** — un gráfico indicando la relación entre el área de la superficie de agua en un reservorio y el volumen correspondiente.

**Promedio de la Descarga** — el promedio aritmético de todos los registros anuales completos del agua, fueren o no consecutivos.

**Promedio de Carga** — la carga hipotética constante durante un período de tiempo específico que produciría la misma energía que la carga actual produciría por el mismo período de tiempo.

**Remanso** — agua devuelta o retardada en su curso en comparación con su condición normal o natural de flujo. En la medición de una corriente, una elevación en el nivel producida por obstrucción temporal tal como hielo o yuyos, o por la inundación de la corriente de más abajo. La diferencia entre el nivel observado y el indicado por la relación con el nivel de descarga, se reporta como remanso.

**Almacenaje en el Banco** — el agua absorbida en los bancos de la cuenca de una corriente, cuando los niveles suben por encima de las tablas del agua en las formaciones de los bancos, y luego vuelve a la cuenca como coladura efluente cuando el nivel del agua caiga por debajo de las tablas del agua.

**Base de Descarga (para descarga de punta)** — en los reportes anuales de la Investigación Geológica de los EE. UU. sobre abastecimiento de agua sobre la superficie, la descarga por encima de la cual se publica la información de la descarga de punta. La base de la descarga en cada estación se selecciona de modo que se presentará un promedio de más o menos tres puntas al año. (Ver también Serie de Inundaciones de duración parcial.)

**Base de Carga** — la base de la carga es aquella porción de la curva de la carga donde la demanda es continua o aproximadamente continua 100 por ciento del tiempo.

## Glossary

Selectively chosen and modified from "General Introduction and Hydrologic Definition, U.S.G.S. Water Supply Paper 1541-A, by W.B. Langbein and L.T. Iseri, and from "Hydropower Assessment and DOE Loan Applications", by H.L. Magleby, Spokane, Washington, 1980

**Anadromous Fish** — Fish, such as salmon, which ascend rivers from the sea at certain seasons to spawn.

**Annual Flood** — the highest peak discharge in a water year.

**Annual Flood Series** — a list of annual floods.

**Antecedent Precipitation Index** — an index of moisture stored within a drainage basin before a storm.

**Area-capacity Curve** — a graph showing the relation between the surface area of the water in a reservoir and the corresponding volume.

**Average Discharge** — the arithmetic average of all complete water years of record whether or not they are consecutive.

**Average Load** — the hypothetical constant load over a specified time period that would produce the same energy as the actual load would produce for the same period.

**Backwater** — water backed up or retarded in its course as compared with its normal or natural condition of flow. In stream gauging, a rise in stage produced by a temporary obstruction such as ice or weeds, or by the flooding of the stream below. The difference between the observed stage and that indicated by the stage-discharge relation, is reported as backwater.

**Bank Storage** — the water absorbed into the banks of a stream channel, when the stages rise above the water table in the bank formations, then returns to the channel as effluent seepage when the stages fall below the water table.

**Base Discharge (for peak discharge)** — in the U.S. Geological Survey's annual reports on surface water supply, the discharge above which peak discharge data are published. The base discharge at each station is selected so that an average of about three peaks a year will be presented. (See also Partial-duration flood series).

**Base Load** — base load is that portion of the load curve where demand is continuous or nearly continuous 100 percent of the time.

**Base Runoff** — sustained or fair weather runoff. In most streams, base runoff is composed largely of groundwater effluent. The term base flow is often used in the same sense as base runoff. However, the

**Afluencia en la Base** — afluencia en forma sostenida o en buen tiempo. En la mayoría de las corrientes la afluencia en la base está compuesta esencialmente del agua subterránea que fluye. No obstante, la distinción es la misma que hay entre flujo de la corriente y la afluencia. Cuando el concepto en los términos flujo de la base y afluencia en la base es el del flujo natural en una corriente, la afluencia en la base es el término lógico. (Ver también Afluencia Subterránea y Afluencia Directa).

**Datos Hidrológicos Básicos** — incluye inventarios de características del terreno y el agua que varía solo de un lugar a otro (ejemplos son los mapas topográficos y geológicos), y registra los procesos que varían con lugar y tiempo. (Registros de precipitación, caudal de las corrientes, aguas subterráneas y análisis de la calidad del agua son algunos ejemplos).

Información hidrológica básica es un término amplio que incluye las investigaciones de los recursos acuáticos de áreas particulares y un estudio de sus procesos físicos y económicos relacionados, inter-relaciones y mecanismos.

**Beneficios (Económicos)** — el aumento en valor económico producido por la adición del proyecto de hidroelectricidad, típicamente representado como una serie de valores proyectados sobre el tiempo, producido por la generación de energía hidroeléctrica. En los proyectos de pequeñas plantas hidroeléctricas esto está con frecuencia limitado, para los fines del análisis, al flujo de los costos que serían representativos del costo mínimo de la fuente alternativa de energía equivalente.

**Capacidad** — la energía máxima de salida o carga para la cual se evalúa una turbina-generador, estación o sistema.

**Valor de la Capacidad** — la parte del valor del mercado de la energía eléctrica que se asigna a la capacidad segura.

**Factor de Recuperación del Capital** — un valor matemático de finanzas utilizado para convertir una suma global en una serie de valores anuales uniformes.

**Area de Colección** — ver Cuenca de Drenaje.

**Clima** — la suma total de elementos meteorológicos que caracterizan las condiciones normales y extremas de la atmósfera durante un largo período de tiempo en cualquier lugar o región sobre la superficie de la tierra. El estado colectivo de la atmósfera en un lugar determinado o en un área determinada dentro de un período de tiempo especificado.

**Año Climático** — un período continuo de 12 meses durante el cual ocurre un ciclo anual completo, seleccionado arbitrariamente para la presentación de datos relativos a fenómenos hidrológicos o meteorológicos. Este año climático es usualmente designado por el año calendario (Ver año acuático).

**Almacenamiento para Conservación** — el almacenamiento del agua para ser utilizada posteriormente para fines útiles tales como el abastecimiento de aguas

distinction is the same as that between streamflow and runoff. When the concept in the terms base flow and base runoff is that of the natural flow in a stream, base runoff is the logical term. (See also Ground water runoff and Direct runoff).

**Basic Hydrologic Data** — includes inventories of features of land and water that vary only from place to place (topographic and geologic maps are examples), and records of processes that vary with both place and time. (Records of precipitation, streamflow, groundwater and quality-of-water analyses are examples).

Basic hydrologic information is a broader term that includes surveys of the water resources of particular areas and a study of their physical and related economic processes, interrelations and mechanisms.

**Benefits (Economic)** — the increase in economic value produced by the hydropower addition project, typically represented as a time stream of value produced by the generation of hydroelectric power. In small hydro projects this is often limited for analysis purposes to the stream of costs that would be representative of the least costly alternative source of equivalent power.

**Capacity** — the maximum power output or load for which a turbine-generator, station, or system is rated.

**Capacity Value** — that part of the market value of electric power which is assigned to dependable capacity.

**Capital Recovery Factor** — a mathematics of finance value used to convert a lump sum amount to an equivalent uniform annual stream of values.

**Catchment Area** — see Drainage Basin

**Climate** — the sum total of the meteorological elements that characterize the average and extreme condition of the atmosphere over a long period of time at any one place or region of the earth's surface. The collective state of the atmosphere at a given place or over a given area within a specified period of time.

**Climatic Year** — a continuous 12-month period during which a complete annual cycle occurs, arbitrarily selected for the presentation of data relative to hydrologic or meteorologic phenomena. The climatic year is usually designated by the calendar year. (See Water Year).

**Conservation Storage** — storage of water for later release for useful purposes such as municipal water supply, power, or irrigation in contrast with storage capacity used for flood control.

**Consumptive Use** — the quantity of water absorbed by the crop and transpired or used directly in the building of plant tissue with that evaporated from the cropped area.

municipales, energía o irrigación en contraste con almacenamiento de la capacidad utilizado para control de las inundaciones.

**Uso Consumptivo** — la cantidad de agua absorbida por la cosecha y transpirada o usada directamente en los tejidos de las plantas juntamente con la evaporada del área de la cosecha.

La cantidad de agua transpirada y evaporada de un área de la cosecha o la pérdida normal de agua del suelo por evaporación y transpiración de la planta.

La cantidad de agua descargada a la atmósfera o incorporada en los productos del proceso en conexión con el crecimiento vegetativo, proceso de alimentos, o un proceso industrial.

**Contenido** — el volumen de agua en un reservorio. A menos que se indique de otro modo, el contenido de un reservorio se computa en la base de una pileta a nivel y no incluye el almacenaje del banco.

**Control** — una constricción natural de cauce, una extensión larga del cauce, un estrecho de los "rapidos", o una estructura artificial corriente abajo de una estación de medición que determina la relación del nivel a la descarga al punto de la medición.

Un control puede ser completo o parcial. Existe control completo cuando la relación nivel descarga en la estación de medición es totalmente independiente de las fluctuaciones en el nivel más abajo del control. Existe control parcial cuando las fluctuaciones de la baja corriente tienen algún efecto sobre la relación del nivel descarga en la estación de medición. El control, fuere parcial o completo, puede ser variable. La mayoría de los controles naturales son variables a cierto grado, pero existe control variable cuando la relación del nivel descarga experimenta frecuentes cambios debidos a la impermanencia de las cuencas o los bancos.

**Correlación** — el proceso de establecer una relación entre un variante y una o más variantes relacionadas. La correlación es simple si hay una sola variante independiente; múltiple, si hay más de una variante independiente. Para los registros de la estación de medición, las variantes usuales son los registros de la estación de medición a corto plazo y uno o más registros de la estación de medición a largo plazo.

**Estimación Correlativa** — una descarga determinada por correlación. Una estimación correlativa representa un valor aproximado de la descarga para un período particular — comunmente un mes — de acuerdo a un método de análisis especificado.

**Costo (Económico)** — la serie de valores requeridos para producir energía hidroeléctrica. In proyectos hidroeléctricos pequeños, esto se limita a menudo a los costos de administración y construcción requeridos para desarrollar la planta de energía, y los costos de administración, operaciones, mantenimiento y repuestos

The quantity of water transpired and evaporated from a cropped area or the normal loss of water from the soil by evaporation and plant transpiration.

The quantity of water discharged to the atmosphere or incorporated in the products of the process in connection with vegetative growth, food processing, or an industrial process.

**Contents** — the volume of water in a reservoir. Unless otherwise indicated reservoir content is computed on the basis of a level pool and does not include bank storage.

**Control** — a natural constriction of the channel, a long reach of the channel, a stretch of rapids, or an artificial structure downstream from a gauging station that determines the stage-discharge relation at the gauge.

A control may be complete or partial. A complete control exists where the stage-discharge relation at a gauging station is entirely independent of fluctuations in stage downstream from the control. A partial control exists where downstream fluctuations have some effect upon the stage-discharge relation at a gauging station. A control, either partial or complete, may also be shifting. Most natural controls are shifting to a degree, but a shifting control exists where the stage-discharge relation experiences frequent changes owing to impermanent bed or banks.

**Correlation** — the process of establishing a relation between a variable and one or more related variables. Correlation is simple if there is only one independent variable; multiple, if there is more than one independent variable. For gauging station records, the usual variables are the short-term gauging-station record and one or more long-term gauging station records.

**Correlative Estimate** — a discharge determined by correlation. A correlative estimate represents a likely value of the discharge for any particular period — commonly a month — according to a specified method of analysis.

**Cost (Economic)** — the stream of value required to produce the hydroelectric power. In small hydro projects, this is often limited to the management and construction cost required to develop the power plant, and the administration, operations, maintenance and replacement costs required to continue the power plant in service.

**Cost of Service** — cost of producing electric energy at the point of the ownership transfer.

**Critical Streamflow** — the amount of streamflow available for hydroelectric power generation during the most adverse streamflow period.

**Current Meter** — an instrument for measuring the speed of flowing water.

requeridos para continuar la planta de energía en operación.

**Costo del Servicio** — costo de la producción de energía eléctrica al punto de la transferencia de propiedad.

**Caudal Crítico** — la cantidad del caudal disponible para la generación de energía hidroeléctrica durante los períodos más adversos del caudal.

**Medidor de la Corriente** — un instrumento para medir la velocidad del flujo del agua.

**Ciclo** — una sucesión de eventos recurrentes regularmente tales como el ciclo de las estaciones. Se debe evitar el uso de un ciclo para describir un grupo de años con muchas lluvias seguido o precedido por un grupo de años de sequía.

**Almacenaje Muerto** — el volumen en un reservorio por debajo del más bajo nivel controlable.

**Servicio de Deuda** — pagos de capital e interés sobre la deuda utilizada para financiar el proyecto.

**Demanda** — ver Carga

**Capacidad Segura** — la habilidad de soportar la carga de una planta hidroeléctrica bajo condiciones hidrológicas adversas por el intervalo de tiempo y período especificado de la carga de un sistema particular.

**Rendimiento Seguro, n-años** — el abastecimiento mínimo de un desarrollo hídrico dado que esté disponible bajo demanda, con el entendimiento de que los rendimientos más bajos ocurrirán como promedio una vez en n-años.

**Agotamiento** — la pérdida progresiva de agua de la superficie o reservorios subterráneos a una proporción mayor que la de volverse a llenar.

**Afluencia Directa** — la afluencia que entra a los caudales del cauce inmediatamente después de la lluvia o de que se derritan las nieves. Superimpuesto a la afluencia de base, forma el total hidrográfico de una inundación. Véase también afluencia de la superficie. Las expresiones afluencia de base y afluencia directa son clasificaciones de la corriente en función del tiempo. Las expresiones cuenca subterránea y afluencia superficial son clasificaciones de acuerdo a la procedencia.

**Descarga** — en su concepto más simple, descarga significa efluencia, en consecuencia, el uso de este término no está restringido al curso o la ubicación, y se lo puede aplicar para describir el flujo del agua de una cañería o de un canal de drenaje. Si la descarga ocurre en algún curso o ca, es correcto hablar de la descarga de un canal o río. También es correcto hablar de la descarga de un canal o arroyo en un lago, un arroyo o un océano. (Ver también cuenca y afluencia)

La descarga de las cuencas de drenaje se distinguen como sigue:

**Rendimiento.** Total de aguas corridas; incluye afluencia más el flujo subálveo.

**Cycle** — a regularly recurring succession of events such as the cycle of the seasons. Use of cycle to describe a group of wet years followed or preceded by a group of dry years is to be avoided.

**Dead Storage** — the volume in a reservoir below the lowest controllable level.

**Debt Service** — principal and interest payments on the debt used to finance the project.

**Demand** — see Load.

**Dependable Capacity** — the load carrying ability of a hydropower plant under adverse hydrologic conditions for the time interval and period specified of a particular system load.

**Dependable Yield, n-years** — the minimum supply of a given water development that is available on demand, with the understanding that lower yields will occur once in n-years, on the average.

**Depletion** — the progressive withdrawal of water from surface or groundwater reservoirs at a rate greater than that of replenishment.

**Direct runoff** — the runoff entering stream channels promptly after rainfall or snowmelt. Superimposed on base runoff, it forms the bulk of the hydrograph of a flood.

See also surface runoff. The terms base runoff and direct runoff are time classifications of runoff. The terms groundwater runoff and surface runoff are classifications according to source.

**Discharge** — in its simplest concept discharge means outflow; therefore, the use of this term is not restricted as to course or location, and it can be applied to describe the flow of water from a pipe or from a drainage basin. If the discharge occurs in some course or channel, it is correct to speak of the discharge of a canal or of a river. It is also correct to speak of the discharge of a canal or stream into a lake, a stream, or an ocean. (See also Streamflow and Runoff).

The discharge of drainage basins is distinguished as follows:

**Yield.** Total water runoff; includes runoff plus underflow.

**Runoff.** That part of water yield that appears in streams.

**Streamflow.** The actual flow in streams, whether or not subject to regulation, or underflow.

Each of these terms can be reported in total volumes or time rates.

**Diversion** — the taking of water from a stream or other body of water into a canal, pipe, or other conduit.

**Double-mass Curve** — a plot on arithmetic cross-section paper of the cumulated values of one variable

**Afluencia.** Aquella parte del rendimiento del agua que aparece en el cauda.

**Caudal.** El flujo actual en las corrientes, estén o no sujetas a regulacion, o flujo subálveo.

Cada uno de estos terminos se puede reportar en volumen total o en unidades de tiempo.

**Desvío** — la toma del agua de un arroyo u otra fuente de agua en un canal, cañerías u otro conducto.

**Curva de Doble Masa** — un diagrama sobre papel corte seccional aritmético de los valores acumulados de una variante comparados con los valores acumulados de otra, o con los valores computados de la misma variante por un período de tiempo concurrente.

**Area de Drenaje** — el área de drenaje de una corriente ubicada en un lugar específico es ese área, medido en un plano horizontal, el cual está encerrado por una divisoria de drenaje.

**Cuenca de Drenaje** — es una parte de la superficie de la tierra que está ocupada por un sistema de drenaje que consiste en una corriente superficial o un cuerpo de agua superficial represada junto con todas las corrientes tributarias superficiales y cuerpos de agua superficial represada.

**Sequía** — es un período de precipitación deficiente o de afluencia que se extiende por un número indefinido de días, pero sin un patrón standard que ayude a determinar la cantidad de deficiencia necesaria para constituir una sequía. Así, no existe una definición cuantitativa aceptada universalmente para la sequía; generalmente, cada investigador establece su propia definición.

El siguiente párrafo cubre el problema de definir una sequía:

Cuando en un área que es normalmente clasificad como húmed, la vegetación natural se deseca o ocurre defoliación fuera de su estación y las cosechas no maduran por falta de lluvias, o cuándo las lluvias no son suficientes como para satisfacer las necesidades de las actividades humanas establecidas, se puede decir que prevalecen condiciones de sequía. Aunque el agua para irrigación y otros fines en áreas áridas siempre es limitada, los casos especiales de escazés en tales áreas son clasificados también como sequía. Una distribución insatisfactoria de las precipetaciones durante el año puede ser un factor tan efectivo en causar una sequía como la falta en la cantidad total. La temperatura y el viento también juegan un papel muy importante, especialmente en relación al daño causado.

**Precipitación Efectiva (lluvias)** — 1. Aquella parte de la precipitación que produce afluencia. 2. Un promedio sopesado de precipitación corriente y antecedente que es "efectivo" en establecer una correlación con la afluencia. 3. Aquella parte de la precipitación que cae sobre una área irrigada, que es efectiva para satisfacer los requisitos de consumo.

against the cumulated values of another or against the computed values of the same variable for a concurrent period of time.

**Drainage Area** — the drainage area of a stream at a specified location is that area, measured in a horizontal plane, which is enclosed by a drainage divide.

**Drainage Basin** — a part of the surface of the earth that is occupied by a drainage system, which consists of a surface stream or a body of impounded surface water together with all tributary surface streams and bodies of impounded surface water.

**Drought** — a period of deficient precipitation or runoff extending over an indefinite number of days, but with no set standard by which to determine the amount of deficiency needed to constitute a drought. Thus, there is no universally accepted quantitative definition of drought; generally, each investigator establishes his own definition.

The following paragraph discusses the problem of defining a drought:

When in an area that is ordinarily classed as humid, natural vegetation becomes desiccated or defoliates unseasonably and crops fail to mature owing to lack of precipitation, or when precipitation is insufficient to meet the needs of established human activities, drought conditions may be said to prevail. Although water for irrigation or other uses in arid areas is always limited, special shortages in such areas are also regarded as droughts. Unsatisfactory distribution of precipitation throughout the year may be as effective a factor in causing a drought as a shortage in the total amount. Temperature and wind may also play an important part, especially in relation to the damage done.

**Effective Precipitation (rainfall)** — 1. That part of the precipitation that produces runoff. 2. A weighted average of current and antecedent precipitation that is "effective" in correlating with runoff. 3. That part of the precipitation falling on an irrigated area that is effective in meeting the consumptive use requirements.

**Energy** — the capacity for performing work. The electrical energy term generally used is kilowatt-hours and represents power (kilowatts) operating for some time period (hours).

**Energy Value** — that part of the market value of electrical power which is assigned to energy generated.

**Evaporation** — the process by which water is changed from the liquid or the solid state into the vapor state. In hydrology, evaporation is vaporization that takes place at a temperature below the boiling point.

**Evaporation Pan** — an open tank used to contain water for measuring the amount of evaporation. The U.S. Weather Bureau class A pan is 4 feet in diameter, 10 inches deep, set up on a timber grillage so that the

**Energía** — la capacidad para ejecutar un trabajo. El término energía eléctrica generalmente en uso es el de Kilovatio-hora y representa energía (kilovatios) de operación por cierto período de tiempo (horas).

**Valor de Energía** — el precio en el mercado de la energía eléctrica que se asigna a la energía generada.

**Evaporación** — es el proceso por el cual agua se transforma de su estado líquido o sólido estado de vapor. En hidrología la evaporación es la vaporización que ocurre a una temperatura 1 punto de ebullición.

**Tanque de Evaporación** — un tanque abierto con agua que se usa para medir el nivel de evaporación. La Oficina Meteorológica de los Estados Unidos clasifica el tanque A como aquel que tenga 4 pies en diámetro, 10 pulgadas de profundidad, colocado sobre un emparrillado de madera de tal forma que el borde superior tenga una altura de 16 pulgadas sobre el terreno. El nivel del agua dentro del tanque es mantenido durante el curso de la observación a una profundidad entre 2 y 3 pulgadas por debajo del borde.

**Evaporación Total** — es la suma del agua pérdida de cierto terreno durante cierto período específico de tiempo por área de transpiración de la vegetación y acumulación en los tejidos de las plantas; por evaporación de las superficies de agua, humedad del suelo, y nieve, y por intercepción. Ha sido llamado de diferentes maneras, "evaporación" "evaporación del terreno", "evapotranspiración", "pérdida total", "pérdida de agua", y "volatilidad."

**Evapotranspiración** — es el agua perdida per un área del suelo por evaporación de aguas superficiales, humedad del suelo y transpiración vegetal.

**Estudio de Factibilidad** — una investigación realizada para formular un proyecto de hidroenergía y asesorar las ventajas de su implementación.

**Capacidad Humectante del Suelo** — es la cantidad de agua que se puede retener permanentemente en el suelo en contraposición a la atracción ejercida por la gravedad.

**Deficiencia Humectante del Suelo** — la cantidad de agua requerida para devolver al suelo su capacidad-humectante.

**Energía Firme** — la capacidad de generación hidroeléctrica de una planta bajo circunstancias hidrológicas adversas por el intervalo de tiempo y período específico de un sistema de carga particular.

**Potencia Firme** — en mercado-tecnia, la energía de una planta hidroeléctrica, cuando el vendedor no puede asumir entrega de mayor cantidad de energía que la continuamente disponible en años acuático mínimos o críticos. Esta energía que puede ser entregada, aún bajo las peores circunstancias, se llama potencia firme.

**Curva de la Frecuencia de Inundación** — 1. es una gráfica mostrando el número promedio de veces al año, representado como la abscisa, en la cual las inundaciones

top rim is about 16 inches from the ground. The water level in the pan during the course of observation is maintained between 2 and 3 inches below the rim.

**Evaporation, Total** — the sum of water lost from a given land area during any specific time by transpiration from vegetation and building of plant tissue; by evaporation from water surfaces, moist soil, and snow; and by interception. It has been variously termed "evaporation", "evaporation from land areas", "evapotranspiration", "total loss", "water losses", and "fly off".

**Evapotranspiration** — water withdrawn from a land area by evaporation from water surfaces and moist soil and plant transpiration.

**Feasibility Study** — an investigation performed to formulate a hydropower project and assess its desirability for implementation.

**Field-moisture Capacity** — the quantity of water which can be permanently retained in the soil in opposition to the downward pull of gravity.

**Field-moisture Deficiency** — the quantity of water, which would be required to restore the soil moisture to field-moisture capacity.

**Firm Energy** — the energy generation ability of a hydropower plant under adverse hydrologic conditions for the time interval and period specified of a particular system load.

**Firm Power** — in marketing, the energy from a hydroelectric power. The seller cannot assume delivery of any more power than is continuously available in minimal or critical water years. This power on which delivery can be assumed, even under worst-case circumstance, is called firm power.

**Flood-frequency Curve** — 1. A graph showing the number of times per year on the average, plotted as abscissa, that floods of magnitude, indicated by the ordinate, are equaled or exceeded. 2. A similar graph but with recurrence intervals of floods plotted as abscissa.

**Flood, Maximum Probable** — the largest flood for which there is any reasonable expectancy in this climatic era.

**Flood Plain** — a strip of relatively smooth land bordering a stream, built of sediment carried by the stream and dropped in the slack water beyond the influence of the swiftest current. It is called a living flood plain if it is overflowed in times of highwater; but a fossil flood plain if it is beyond the reach of the highest flood.

**Flood Routing** — the process of determining progressively the timing and shape of a flood wave at successive points along a river.

**Fossil Fuels** — refers to coal, oil, and natural gas.

de cierta magnitud, representadas por la ordenada, se igualan o exceden. 2. Una gráfica similar pero con intervalos de recurrencia de las inundaciones representados gráficamente como la abscisa.

**Inundación, Máxima Probable** — la inundación más grande que se puede esperar razonablemente en esta era climática.

**Plano de Inundación** — una faja de tierra relativamente llana, que bordea una corriente, hecha de sedimentos traídos por la corriente y abandonados en la ribera por el agua muerta y fuera del alcance de las corrientes más rápidas. Se le llama plano de inundación viviente si se inunda cuando hay creciente pero se le llama zona de inundación fósil si está fuera del alcance de la inundación más alta.

**Ruta de las Crecientes** — el proceso de determinar progresivamente el tiempo y la forma de la ola de una creciente a varios puntos sucesivos a lo largo del río.

**Combustible Fósil** — se refiere a carbón, petróleo y gas natural.

**Elevación en la Escala** — la elevación de la superficie del agua comparada con un dato arbitrario de medición. La elevación de la escala se usa frecuentemente intercambiablemente con el término más general del nivel aunque la elevación de la escala es más adecuada cuando se la use con una lectura en el calibrador.

**Generador** — máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

**Gigavatio (GV)** — un millón de kilovatios.

**Agua Subterránea** — agua en el subsuelo que es encontrada en la zona de saturación de donde se alimentan los pozos, manantiales y caudales subterráneos.

**Efluencia de Agua Subterránea** — aquella parte de la descarga de una cuenca de drenaje que ocurre a través del agua subterránea. El término "corriente subálvea" es a menudo usado para describir la salida del agua subterránea que ocurre en aluviones sobre los valles (en vez de a través de los cauces de la superficie) y así no se miden en una estación calibradora.

**Afluencia Subterránea** — aquella parte de la afluencia que se ha submergido en el suelo y se convierte en agua subterránea y ha sido descargada dentro del cauce de la corriente en la forma de manantial o de agua filtrada.

**Caída Gruesa** — la diferencia en altura entre la superficie de la caída y la superficie del agua de descarga debajo de una planta hidroeléctrica bajo condiciones especificadas.

**Planta Hidroeléctrica o Planta de Hidroenergía** — una planta de energía eléctrica en la cual las turbinas y generadores son accionados por agua.

**Hidrográfica** — gráfica que muestra nivel, flujo, velocidad u otra propiedad del agua con relación al tiempo.

**Gauge Height** — the water-surface elevation referred to some arbitrary gauge datum. Gauge height is often used interchangeably with the more general term stage although gauge height is more appropriate when used with a reading on a gauge.

**Generator** — a machine which converts mechanical energy into electric energy.

**Gigawatt (GW)** — one million kilowatts.

**Groundwater** — water in the ground that is in the zone of saturation, from which wells, springs, and groundwater runoff are supplied.

**Groundwater Outflow** — that part of the discharge from a drainage basin that occurs through the groundwater. The term "underflow" is often used to describe the groundwater outflow that takes place in valley alluvium (instead of the surface channel) and thus is not measured at a gauging station.

**Groundwater Runoff** — that part of the runoff which has passed into the ground, has become groundwater and has been discharged into a stream channel as spring or seepage water.

**Head, Gross (H)** — the difference in elevation between the headwater surface above and the tailwater surface below a hydroelectric power plant, under specified conditions.

**Hydroelectric Plant or Hydropower Plant** — an electric power plant in which the turbine/generators are driven by water.

**Hydrograph** — a graph showing stage, flow, velocity, or other property of water with respect to time.

**Hydrologic Budget** — an accounting of the inflow to, outflow from, and storage in, a hydrologic unit, such as a drainage basin, aquifer, soil zone, lake, reservoir, or irrigation project.

**Hydrologic Cycle** — a convenient term to denote the circulation of water from the sea, through the atmosphere, to the land; and thence, with many delays, back to the sea by overland and subterranean routes, and in part by way of the atmosphere; also the many short circuits of the water that is returned to the atmosphere without reaching the sea.

**Infiltration** — the flow of a fluid into a substance through pores or small openings. It connotes flow into a substance in contradistinction to the word percolation, which connotes flow through a porous substance.

**Infiltration Capacity** — the maximum rate at which the soil, when in a given condition, can absorb falling rain or melting snow.

**Installed Capacity** — the total capacities shown on the nameplates of the generating units in a hydropower plant.

**Presupuesto Hidrológico** — Contabilidad de entradas a, salidas de, almacenamiento en, cualquier unidad hidrológica tal como una cuenca de drenaje, capa acuífera, zona de suelo, lago, reservorio, o proyecto de irrigación.

**Ciclo Hidrológico** — un término conveniente para denotar la circulación del agua del mar, a través de la atmósfera, a la tierra, y de aquí después de muchas etapas devuelta al mar por rutas superficiales y subterráneas y en parte por medio de la atmósfera; también los numerosos corto circuitos del agua que es devuelta a la atmósfera sin alcanzar el mar.

**Infiltración** — el flujo de un líquido a una sustancia por medio de poros o aperturas pequeñas. Significa flujo dentro de una sustancia en contradistinción a la palabra percolación que significa flujo a través de una sustancia porosa.

**Capacidad de Infiltración** — la tasa máxima a la cual el suelo puede absorber la lluvia caída o la nieve derretida, dada cierta condición.

**Capacidad Instalada** — el total de las capacidades anotadas en las placas de las unidades generadoras de una planta hidroeléctrica.

**Tasa de Rendimiento Interno de la Inversión** — la tasa de interés a la que el presente valor de los beneficios anuales iguala presente valor de los costos anuales.

**Línea Isopluvial (isohieto)** — una línea dibujada en un mapa o gráfica, la cual une puntos que reciben la misma cantidad de precipitación.

**Kilovatios (KV)** — mil vatios

**Kilovatio Hora (kVh)** — la cantidad de energía eléctrica relacionada con la demanda de un Kilovatio durante el período de una hora. Equivale a 3,413 Btu de energía térmica.

**Carga** — la cantidad de potencia necesaria para entregarla a un punto determinado en un sistema eléctrico.

**Curva de Carga** — una curva mostrando la cantidad de potencia suministrada, (kilovatios) representada gráficamente en función el tiempo en que ocurrió, e ilustrando la magnitud variante de la carga durante el período de observación.

**Factor de Carga** — la proporción que existe entre el promedio de carga durante un período designado y la carga de punta o máxima que ocurre en ese mismo período.

**Variaciones a Largo Plazo** — secular cuando el ciclo o cambio en tendencia se completa en un siglo; climático cuando el período de cambios se extiende por varios siglos o algunos milenios; geológicos cuando el período se extiende en la noche de los tiempos.

**Curva de la Frecuencias de Flujo-Bajo** — una gráfica que muestra la magnitud y la frecuencia de los flujos mínimos por un período de duración específica. La frecuencia se expresa normalmente como el intervalo promedio, en años, entre repeticiones de los flujos mínimos

**Internal Rate of Return on Investment** — the interest rate at which the present worth of annual benefits equals the present worth of annual costs.

**Isohyetal Line (isohyet)** — a line drawn on a map or chart joining points that receive the same amount of precipitation.

**Kilowatt (kW)** — one thousand watts.

**Kilowatt-Hour (kWh)** — the amount of electrical energy involved with a one-kilowatt demand over a period of one hour. It is equivalent to 3,413 Btus of heat energy.

**Load** — the amount of power needed to be delivered at a given point on an electric system.

**Load Curve** — a curve showing power (kilowatts) supplied, plotted against time of occurrence, and illustrating the varying magnitude of the load during the period covered.

**Load Factor** — the ratio of the average load during a designated period to the peak or maximum load occurring in that period.

**Long-period Variations** — secular when a cycle or a change in trend is completed within a century; climatic when the period of change runs through centuries or a few millenia; geologic when the period runs into geological time.

**Low-flow Frequency Curve** — a graph showing the magnitude and frequency of minimum flows for a period of given length. Frequency is usually expressed as the average interval, in years, between recurrences of an annual minimum flow equal to or less than that shown by the magnitude scale.

**Megawatt (MW)** — one thousand kilowatts.

**Mass Curve** — a graph of the cumulative values of a hydrologic quantity (such as precipitation or runoff), generally as ordinate, plotted against time or date as abscissa. (See Double-mass curve, and Residual-mass curve).

**Megawatt-Hour (MWh)** — one thousand kilowatt-hours.

**Multi-purpose River Basin Program** — programs for the development of rivers with dams and related structures which serve more than one purpose, such as hydroelectric power, irrigation, water supply, water quality control, and fish and wildlife enhancement.

**Normal** — a central value (such as arithmetic average or median) of annual quantities for a 30-year period ending with an even 10-year, thus 1921-1950; 1931-1960, and so forth. This definition accords with that recommended by the Subcommittee on Hydrology of the Federal InterAgency Committee on Water Resources (USA).

**Outage** — the period in which a generating unit, transmission line, or other facility, is out of service.



anuales iguales o menores que los ilustrados en la escala de magnitud.

**Megavatios (MV)** — Mil kilovatios.

**Curva de Masa** — gráfica de valores cumulativos de una cantidad hidrológica (tales como precipitación afluencia) generalmente como ordenada, representados gráficamente comparando con tiempo o fecha como abscisa. (Ver Curva de Doble-masa y Curva de Masa Residual).

**Megavatios Hora (MWh)** — mil horas kilovatios.

**Programa para Desarrollos Múltiples de la Cuenca del Río** — programas para el desarrollo de los ríos con represas y estructuras afines para servir varios objetivos tales como energía hidroeléctrica, irrigación, abastecimiento de agua, control de la calidad del agua y mejoramiento de la pesca y fauna.

**Normal** — Un valor central (tal como el promedio aritmético o mediana) de las cantidades anuales por un período de 30 años finalizando con una decena redonda; como 1921-50; 1931-60 y así consecutivamente. Esta definición concuerda con la recomendada por el Subcomité sobre Hidrología del Comité de Inter-Agencias Federales sobre Recursos Acuáticos, (Estados Unidos).

**Paralización** — el período en el cual una unidad generadora, línea de transmisión u otra facilidad esté fuera de servicio.

**Flujo sobre el Terreno** — el flujo del agua de lluvia o de nieve derretida que corre sobre la superficie del terreno hacia los canales de la corriente. Una vez dentro de la corriente del río se convierte en afluencia.

**Series de Flujo de Duración-Parcial** — una lista de las inundaciones máximas que excedan un nivel base o descarga, sin importar el número de veces que ocurran durante el año.

**Demanda de Punta** — la demanda de punta es la mayor demanda en kilovatios por un período dado. Por ejemplo, la demanda máxima anual es la mayor demanda en kilovatios que ocurre durante un año; la demanda máxima cotidiana es la mayor demanda en kilovatios que ocurre durante un día específico.

**Carga de Punta** — es la mayor carga dentro de un período de tiempo específico.

**Percolación** — el movimiento bajo presión hidrostática, del agua a través de los intersticios de rocas o el suelo, con excepción del movimiento a través de grandes huecos como cavernas.

**Percolación Profunda** — en irrigación o práctica agrícola es la cantidad de agua que pasa debajo de la zona de las raíces de las cosechas o vegetación.

**Factor de la Planta** — la proporción de la carga promedio de la capacidad instalada de la planta expresada como porcentaje anual.

**Almacenamiento Acuático** — el almacenamiento en pequeña escala en una planta hidráulica para igualar diaria-

**Overland Flow** — the flow of rainwater or snowmelt over the land surface toward stream channels. After it enters a stream, it becomes runoff.

**Partial-duration Flood Series** — a list of all flood peaks that exceed a chosen base stage or discharge, regardless of the number of peaks occurring in a year.

**Peaking demand** — peak demand is the maximum demand in kilowatts for a given period. For example the annual peak demand is the maximum demand in kilowatts that occurs within a year; the daily peak demand is the maximum demand in kilowatts that occurs within a given day.

**Peak Load** — the maximum load in a stated period of time.

**Percolation** — the movement, under hydrostatic pressure, of water through the interstices of a rock or soil, except the movement through large openings such as caves.

**Percolation, Deep** — in irrigation or farming practice, the amount of water that passes below the root zone of the crop or vegetation.

**Plant Factor** — ratio of the average load to the plants' installed capacity expressed as an annual percentage.

**Pondage** — small-scale storage at a waterpower plant to equalize daily or weekly fluctuations in riverflow or to permit irregular hourly use of the water for power generation to accord with fluctuations in load.

**Potential Evapotranspiration** — water loss that will occur if there is at no time a deficiency of water in the soil for use of vegetation.

**Power** — the rate of work done. Electric power refers to the generation or use of electric energy, usually measured in kilowatts.

**Power Factor** — the percentage of the amount of power, measured in kilowatts, used by a consuming electric facility to the apparent power measured in kilovolt-amperes.

**Precipitation** — as used in hydrology, precipitation is the discharge of water, in liquid or solid state, out of the atmosphere, generally upon a land or water surface. It is the common process by which atmospheric water becomes surface or subsurface water. The term "precipitation" is also commonly used to designate the quantity of water that is precipitated.

Precipitation includes rainfall, snow, hail, and sleet, and is therefore a more general term than rainfall.

**Project Sponsor** — the entity controlling the small hydro site and promoting the construction of the facility.

**Pumped Storage** — an arrangement whereby electric power is generated during peak load periods by using water previously pumped into a storage reservoir during off-peak periods.

mente o semanalmente las fluctuaciones de las corrientes del río o para permitir utilizaciones irregulares de agua de hora en hora, para generar energía para acomodar las fluctuaciones de la carga.

**Evapotranspiración Potencial** — pérdida de agua que ocurrirá si en ningún momento haya en el suelo deficiencia de agua para uso de la vegetación.

**Potencia** — la tasa de trabajo realizado. La energía eléctrica se refiere a la generación o uso de energía eléctrica usualmente medida en kilovatios.

**Factor de Potencia** — es el porcentaje de la porción de la cantidad de energía — medida en kilovatios — que usa una facilidad eléctrica consumidora de potencia aparente medida en kilovoltio-amperios.

**Precipitación** — en hidrología es la descarga de agua, estado líquido o sólido, proveniente de la atmósfera, generalmente sobre la superficie de la tierra o agua. Es el proceso común por cual el agua atmosférica se convierte en agua de superficie o en agua subterránea. El término "precipitación" también se usa comúnmente para designar la cantidad de agua que se ha precipitado.

La precipitación incluye lluvias, nevadas, granizo, y cellisca y por lo tanto es un término más generalizado que simplemente la caída de las lluvias.

**Patrocinador de un Proyecto** — la entidad que controla el lugar de la pequeña planta hidroeléctrica y que es promotora de la construcción de la facilidad.

**Almacenaje por Bombeo** — es una técnica por la cual se genera energía eléctrica durante los períodos de carga de punta utilizando agua previamente bombeada en el reservorio almacenador durante los períodos de más bajo consumo.

**Exceso de Lluvia** — es el volumen de lluvia caída disponible para la afluencia directa. Es igual a la caída total del agua de lluvia menos la intercepción, almacenamiento en las depresiones y absorción.

**Tramo** — 1. la longitud del cauce uniforme con respecto a la descarga, profundidad, y pendiente. 2. la longitud de un cauce para el cual una sólo estación calibradora proporciona medición satisfactoria del nivel y descarga. 3. el tramo de un río entre dos estaciones calibradoras. 4. en términos generales, cualquier tramo de un río.

**Estudio de Reconocimiento** — un estudio preliminar de factibilidad para asesorar si se garantiza un estudio de factibilidad.

**Intervalo de Recurrencia (período de retorno)** — el intervalo de tiempo promedio dentro del cual un flujo específico será igualado o excedido una vez.

**Regulación** — la manipulación artificial del flujo de una corriente.

**Reservorio Re-regulador** — un reservorio que reduce las fluctuaciones durnas resultantes de la operación de un reservorio de río arriba para producir energía.

**Rainfall excess** — the volume of rainfall available for direct runoff. It is equal to the total rainfall minus interception, depression storage, and absorption.

**Reach** — 1. The length of channel uniform with respect to discharge, depth, area, and slope. 2. The length of a channel for which a single gauge affords a satisfactory measure of the stage and discharge. 3. The length of a river between two gauging stations. 4. More generally, any length of a river.

**Reconnaissance Study** — a preliminary feasibility study designed to ascertain whether a feasibility study is warranted.

**Recurrence Interval (return period)** — the average interval of time within which the given flood will be equaled or exceeded once.

**Regulation** — the artificial manipulation of the flow of a stream.

**Re-regulating Reservoir** — a reservoir for reducing diurnal fluctuations resulting from the operation of an upstream reservoir for power production.

**Reservoir** — a pond, lake, or basin, either natural or artificial, for the storage, regulation, and control of water.

**Residual-mass Curve** — a graph of the cumulative departures from a given reference such as the arithmetic average, generally as ordinate, plotted against time or date, as abscissa. (See Mass curve).

**Return Flow** — that part of irrigation water that is not consumed by evapotranspiration and that returns to its source or another body of water. The term is also applied to the water that is discharged from industrial plants. Also called return water.

**Riparian** — pertaining to the banks of a stream.

**Runoff** — that part of the precipitation that appears in surface streams. It is the same as streamflow unaffected by artificial diversions, storage, or other works of man in or on the stream channels. Runoff may be classified as follows:

Classification as to speed of appearance after rainfall or snow melting:

Direct runoff

Base runoff

Classification as to source:

Surface runoff (see Overland flow)

Storm seepage

Groundwater runoff.

**Secondary Energy** — all hydroelectric energy other than Firm Energy.

**Sediment** — fragmental material that originates from weathering of rocks and is transported by, suspended in, or deposited by water or air or is accumulated in beds by other natural agencies.

**Reservorio** — laguna, lago o cuenca, ya sea natural o artificial para almacenamiento, regulación, y control del agua.

**Curva de Masa Residual** — una gráfica de las partidas cumulativas de una referencia dada tal como el promedio aritmético que se dibuja como ordenada y se representa gráficamente en comparación el tiempo o fecha como abscisa. (Ver Curva de Masa).

**Flujo Retornante** — aquella porción del agua irrigada que no es consumida por evapotranspiración y que retorna a su fuente u otro cuerpo de agua. El término también se aplica al agua descargada por plantas industriales. También se le llama agua retornante.

**Ribereño** — relacionado con los bancos de una corriente.

**Afluencia** — aquella parte de la precipitación que aparece en las corrientes de la superficie. Es lo mismo que el caudal afectado por desviaciones artificiales, almacenamiento o cualquier otro trabajo civil hecho por el hombre dentro o sobre los canales de las corrientes. También se puede clasificar la afluencia de la siguiente manera:

Clasificación de acuerdo con la velocidad de aparición después de la lluvia o del derretimiento de la nieve:

Afluencia directa

Afluencia de base

Clasificación de acuerdo con la Fuente de procedencia

Afluencia Superficial (Ver Flujo sobre Tierra)

Filtración de Tormenta

Afluencia de Agua Subterránea

**Energía Secundaria** — toda energía hidroeléctrica diferente de la Energía Firme.

**Sedimento** — material fragmentado que se origina con la erosión de las rocas y es transportado, suspendido o depositado por el agua o el aire y se acumula en los lechos con la ayuda de otros agentes naturales.

**Servicio de Paralización** — el paro de una unidad generadora, línea de transmisión u otra facilidad para inspección, mantenimiento o reparación.

**Del Agua Superficial** — desviación del agua de una corriente o conducto por medio de un derrame superficial para evitar la desviación de arena, sedimento u otros escombros acarrados como carga del fondo.

**Reserva Disponible** — las unidades generadoras que operan sin ninguna carga o con carga parcial con capacidad excesiva disponible lista para suministrar o soportar cargas adicionales.

**Nivel** — la altura de la superficie del agua encima de un plano establecido; también es un calibrador de la altura.

**Curva de Capacidad de Nivel** — una gráfica que ilustra la relación que existe entre la superficie de la elevación del agua en un reservorio, que se representa como ordenada comparada con el volumen debajo de esa elevación que se representa como abscisa.

**Service Outage** — the shut-down of a generating unit, transmission line or other facility for inspection, maintenance, or repair.

**Skimming** — the diversion of water from a stream or conduit by a shallow overflow used to avoid diversion of sand, silt or other debris carried as bottom load.

**Spinning Reserve** — generating units operating at no load or at partial load with excess capacity readily available to support additional load.

**Stage** — the height of a water surface above an established datum plane; also gauge height.

**Stage-capacity Curve** — a graph showing the relation between the surface elevation of the water in a reservoir, usually plotted as ordinate, against the volume below that elevation, plotted as abscissa.

**Stage-discharge Curve (rating curve)** — a graph showing the relation between the gauge height, usually plotted as ordinate, and the amount of water flowing in a channel, expressed as volume per unit of time, plotted as abscissa.

**Storage** — 1. Water artificially impounded in surface or underground reservoirs, for future use. The term regulation refers to the action of this storage in modifying streamflow. See also Conservation storage, Total storage. The term "drainage basin storage" or simply "basin storage" is sometimes used to refer collectively to the amount of water in natural storage in a drainage basin.

**Storage-required Frequency Curve** — a graph showing the frequency with which storage equal to or greater than selected amounts will be required to maintain selected rates of regulated flow.

**Stream** — a general term for a body of flowing water. In hydrology the term is generally applied to the water flowing in a natural channel as distinct from a canal. More generally as in the term stream gauging, it is applied to the water flowing in any channel, natural or artificial.

Streams in natural channels may be classified as follows:

*Relation to time.*

Perennial. One which flows continuously.

Intermittent or seasonal. One which flows only at certain times of the year when it receives water from springs or from some surface source such as melting snow in mountainous areas.

Ephemeral. One that flows only in direct response to precipitation, and whose channel is at all times above the water table.

*Relation to space.*

Continuous. One that does not have interruptions in space.

Interrupted. One which contains alternating

**Curva del Nivel de Descarga (curva de medida)** — una gráfica que indica la relación que existe entre la altura calibrada, representada usualmente como ordenada, y la cantidad de agua que fluye en un cauce, expresada como volumen por unidad de tiempo, representada como abscisa.

**Almacenamiento** — 1. agua artificialmente represada en reservorios de superficie o subterráneos, para utilizarla en el futuro. El término regulación se refiere a la acción de este atopio para modificar el caudal. Ver también Almacenamiento para Conservar, Almacenamiento Total, Almacenamiento Muerto, y Almacenamiento Utilizable. 2. La cantidad de agua represada naturalmente en una cuenca de drenaje tal como aguas subterráneas, cauce de almacenamiento y almacenamiento de depresión. El término "almacenamiento en la cuenca de drenaje" o simplemente "almacenamiento en la cuenca" es algunas veces usado para referirse colectivamente a la cantidad de agua almacenada naturalmente en la cuenca de drenaje.

**Curva de Frecuencia del Almacenamiento Requerido** — una gráfica que muestra la frecuencia con que se requerirá almacenamiento igual o mayor que las cantidades seleccionadas para mantener los porcentajes seleccionados del flujo regulado.

**Corriente** — Término general para referirse a cualquier cuerpo de agua que fluye. En hidrología el término se aplica generalmente al agua que corre en cauces naturales distinguiéndose de un canal artificial. En forma más generalizada, como en la calibración de la corriente, se aplica al agua que fluye en un canal ya sea natural o artificial.

Corrientes en sus cauces naturales pueden ser clasificadas así.

*Relación al Tiempo.*

Perenne. Aquella que fluye continuamente.

Intermitente o estacional. Aquella que fluye sólo en ciertos períodos del año cuando recibe agua de las vertientes o de cualquier fuente superficial como el derretimiento de nieves en las montañas.

Efímera. La que fluye sólo en respuesta directa a la precipitación, y cuyo cauce está siempre por arriba de las tablas de la superficie del agua.

*Relación al Espacio.*

Continúa. Aquella que no tiene interrupciones en cuanto al espacio.

Ininterrumpida. Aquella que contiene alcances alternos que pueden ser perenes, intermitentes o efímera.

*Relación al Agua Subterránea.*

Ganadora. Aquella corriente o tramo de la corriente que recibe agua de la zona de saturación.

Perdedora. Aquella corriente o tramo de la corriente que contribuye agua a la zona de saturación.

Aislada. Aquella corriente o tramo de corriente que ni contribuye ni recibe agua de la zona de saturación.

reaches, that are either perennial, intermittent, or ephemeral.

*Relation to groundwater.*

Gaining. A stream or reach of a stream that receives water from the zone of saturation.

Losing. A stream or reach of a stream that contributes water to the zone of saturation.

Insulated. A stream or reach of a stream that neither contributes water to the zone of saturation nor receives water from it. It is separated from the zones of saturation by an impermeable bed.

Perched. A perched stream is either a losing stream or an insulated stream that is separated from the underlying groundwater by a zone of aeration.

**Streamflow** — the discharge that occurs in a natural channel. Although the term discharge can be applied to the flow of a canal, the word streamflow uniquely describes the discharge in a surface stream course. The term "streamflow" is more general than runoff, as streamflow may be applied to discharge whether or not it is affected by diversion or regulation.

**Streamflow Depletion** — the amount of water that flows into a valley, or onto a particular land area, minus the water that flows out the valley or off from the particular land area.

**Stream Gauging** — the process and art of measuring the depths, areas, velocities, and rates of flow in natural or artificial channels.

**Stream-gauging Station** — a gauging station where a record of discharge of a stream is obtained.

**Supplemental Irrigation** — commonly, irrigation as carried on in humid areas. The term means that the irrigation water is supplementary to the natural rainfall rather than being the primary source of moisture as in arid and semiarid areas.

**System, Electric** — the physically connected generation, transmission, distribution, and other facilities operated as an integral unit under one control, management or operating supervision.

**Thermal Plant** — a generating plant which uses heat to produce electricity. Such plants may burn coal, gas, oil, or use nuclear energy to produce thermal energy.

**Total Storage** — the volume of a reservoir below the maximum controllable level including dead storage.

**Transpiration** — the quantity of water absorbed and transpired and used directly in the building of plant tissue, in a specified time. It does not include soil evaporation.

The process by which water vapor escapes from the living plant, principally the leaves, and enters the atmosphere.

Separada de la zona de saturación por un lecho impermeable.

En Pértiga. Una corriente en pértiga es una corriente perdedora o aislada que se encuentra separada del agua subterránea por una zona de aireación.

**Caudal** — la descarga que ocurre en un cauce natural. Aunque el término descarga se puede aplicar a de un canal, la palabra caudal describe particularmente la descarga en la superficie del curso de un río. El término "caudal" es más general que flujencia, ya que a las descargas fueren o no afectadas por desviación o regulación.

**Vaciamiento del Caudal** — la cantidad de agua que fluye a un valle, o a un terreno específico, menos la cantidad de agua que fluye fuera del valle o fuera del área del terreno particular.

**Hidrometría** — el proceso y arte de medir las profundidades, áreas, velocidades y tasas fluviales de agua en cauces naturales o artificiales.

**Estaciones Calibradoras** — una estación calibradora donde se obtiene un registro de la descarga de una corriente.

**Irrigación Suplementaria** — normalmente, la irrigación llevada a cabo en áreas húmedas. El término implica que el agua irrigada es suplementaria a las lluvias naturales en vez de ser fuentes primordiales de humedad como es el caso en regiones áridas y semi-áridas.

**Sistema Eléctrico** — generación, transmisión, distribución y otras facilidades físicamente conectadas, que operan como unidad integral bajo un sólo control, administración o supervisión de operaciones.

**Planta Térmica** — una planta generadora que utiliza el calor para producir electricidad. Tales plantas pueden consumir carbón, petróleo, aceite o usar energía nuclear para producir energía térmica.

**Almacenamiento Total** — el volumen de un reservorio por debajo del nivel máximo controlable incluyendo el almacenamiento muerto.

**Transpiración** — la cantidad de agua absorbida y transpirada y usada directamente para alimentar los tejidos de las plantas durante un período específico. No incluye evaporación del suelo.

El proceso por el cual el vapor escapa de la planta viva, principalmente de las hojas, y entra a la atmósfera.

**Tendencia** — término estadístico que se refiere a la dirección o tasa de incremento o disminución en magnitud de los miembros individuales de una serie temporal de datos cuando no se tomen en cuenta las fluctuaciones al azar de dichos miembros.

**Turbina** — la parte de una unidad generadora la cual rota por la fuerza del agua o por el vapor para impulsar el generador eléctrico. La turbina normalmente consiste en una serie de paletas curvo de hélices que giran alrededor de un eje central.

**Trend** — a statistical term referring to the direction or rate of increase or decrease in magnitude of the individual members of a time series of data when random fluctuations of individual members are disregarded.

**Turbine** — the part of a generating unit consisting of a turbine and an electric generator. The turbine usually consists of a series of curved-vanes or blades on a central spindle.

**Turbine/Generator** — a rotary-type unit consisting of a turbine and an electric generator.

**Turbine Efficiency** — turbine efficiency refers to the ratio between the actual power output of the turbine and the theoretical power output for a "perfect" turbine. Efficiency can refer to the turbine by itself, or to the plant as a whole, including the generator and any gear box, clutch or similar unit.

**Usable Storage** — the volume normally available for release from a reservoir below the stage of the maximum controllable level.

**Vertical Integrated System** — refers to power systems which combine generation, transmission, and distribution functions.

**Water Balance** — see Hydrologic budget.

**Watershed** — the divide separating one drainage basin from another and in the past has been generally used to convey this meaning. However, over the years, use of the term to signify drainage basin or catchment area has come to predominate, although drainage basin is preferred. Drainage divide, or just divide, is used to denote the boundary between one drainage area and another. Used alone, the term "watershed" is ambiguous and should not be used unless the intended meaning is made clear.

**Water Year** — in U.S Geological Survey reports dealing with surface-water supply, the 12-month period, October 1 through September 30, 1959, is called the "1959 water year".

**Watt** — the rate of energy transfer equivalent to one ampere under a pressure of one volt at unity power factor.

**Wheeling** — transportation of electricity by a utility over its lines for another utility; also includes the receipt from and delivery to another system of like amounts but not necessarily the same energy.

**Turbina Generador** — una unidad de tipo rotatorio que consiste en una turbina y un generador eléctrico.

**Eficiencia de la Turbina** — se refiere a la proporción entre la producción actual de energía de la turbina y la producción de energía teórica para una turbina “perfecta.” La eficiencia se puede referir a la turbina en sí o a la planta en total, incluyendo el generador, cualquier caja de embriague o unidad similar.

**Almacenamiento Utilizable** — el volumen normalmente disponible para descargar desde un reservorio debajo máximo nivel controlable.

**Sistema Verticalmente Integrado** - se refiere a los sistemas de energía que combinan las funciones de generación, transmisión y distribución.

**Balance Acuático** — Ver Presupuesto Hidrológico.

**Cuenca Pluviométrica** — la divisoria que separa una cuenca de drenaje de otra era el concepto principal en el pasado. Sin embargo, al pasar los años, ha llegado a predominar el uso del término para significar cuenca colectora del área, aunque cuenca de drenaje es el preferido. La divisoria de drenaje, o simplemente divisoria se utiliza para significar los límites entre un área de drenaje y otro. El término “Cuenca Pluviométrica” en sí es ambiguo y no se la debe usar a menos que su significado en contexto sea completamente claro.

**Año Acuático** — en las Encuestas Geológicas de los Estados Unidos sobre recursos acuáticos significa el período de 12 meses de Octubre 1 a Setiembre 30. El año acuático es designado por el año calendario el cual termina y que incluye 9 de los 12 meses. Así, el año que termina en Setiembre 30, 1959 es denominado el “año acuático 1959.”

**Vatios** — el porcentaje de energía transferida equivalente a un amperio bajo la presión de un voltio a la unidad del factor de energía.

**Rodeando** — el transporta de la electricidad por una utilidad a través de sus líneas para otra utilidad; también incluye el recibo de y la entrega a otro sistema de cantidades similares pero no necesariamente la misma energía.

