



BOLETIN ENERGETICO  
OCTUBRE-DICIEMBRE DE 1980  
ORGANO DE  
DIVULGACION TECNICA



Publicación de la Organización  
Latinoamericana de Energía (OLADE)

**BIBLIOTECA NACIONES UNIDAS MEXICO**

- 3 EDITORIAL
- 5 EL DESARROLLO DE PEQUEÑAS CENTRALES  
HIDROELECTRICAS EN LATINOAMERICA Y EL  
CARIBE
- 27 ANEXO 1: SINTESIS DEL PROGRAMA REGIONAL  
DE P.C.H.
- 31 DISEÑO Y ESTANDARIZACION DE TURBINAS  
MICHELL-BANKI
- 40 HIDROLOGIA PARA PROYECTOS DE PEQUEÑAS  
CENTRALES HIDROELECTRICAS EN AUSENCIA  
DE DATOS
- 43 REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTRICO  
ELECTRONICO DE TURBINAS HIDRAULICAS  
PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS
- 49 METODOLOGIA SINTETICA PARA EL CALCULO  
Y ESPECIFICACION PRELIMINAR DE  
MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS
- 70 OLADE INFORMA
- 76 RESUMEN BIBLIOGRAFICO



Los artículos firmados son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no expresan, necesariamente la posición oficial de la Secretaría Permanente. Las colaboraciones deberán dirigirse al Departamento de Publicaciones de la OLADE, Casilla 119-A, Quito, Ecuador.



DIRECTORIO SECRETARÍA PERMANENTE

- Gustavo Rodríguez Elizarrarás  
Secretario Ejecutivo
- Francisco Monteverde Zubiran  
Director de Proyectos Técnicos y  
Transferencia de Tecnología
- William Larralde Paez  
Director de Análisis, Perspectivas y  
Planificación Energética
- Jorge Estrada Franco  
Coordinador de Administración y Finanzas
- Enrique Indacochea R. de S.  
Coordinador de Transferencia de Tecnología
- Luis Alberto Arauz  
Coordinador de Fuentes Convencionales  
de Energía
- Joao Pimentel Dos Reis  
Coordinador de Bienes de Capital
- Boris Castillo Barroso  
Asesor de Coordinación Regional
- Gustavo Cuellar  
Coordinador de Proyectos Geotérmicos
- Gustavo Martínez Espíndola  
Editor

suscríbese  
al boletín  
energético

**olade**

PUBLICACION TRIMESTRAL



FAVOR DE SUSCRIBIRME AL  
BOLETIN ENERGETICO



1 AÑO

50 Dólares

2 AÑOS

90 Dólares



Adjunto cheque \_\_\_\_\_ Giro postal \_\_\_\_\_

Nombre \_\_\_\_\_

Dirección \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Z.P. \_\_\_\_\_

Ciudad \_\_\_\_\_

Estado \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_



Enviar este cupón y cheque o giro postal a:  
Departamento de Publicaciones de la OLADE,  
Casilla 119-A, Quito, Ecuador.

# EDITORIAL

Con este número iniciamos una nueva etapa en el diseño y distribución de las publicaciones OLADE, con el objeto de lograr una mejor difusión de los temas energéticos que interesan cada día más en el ámbito latinoamericano.

OLADE también vive una nueva etapa de dinamismo, de compromisos contraídos en las Reuniones de Ministros que han impulsado el trabajo de la Organización en diferentes áreas. Así nuestros programas se transforman, buscan un mayor alcance y profundidad tanto en las acciones de apoyo al desarrollo de fuentes de energía, como en la coordinación de políticas y la planificación.

El boletín energético tiene como propósito fundamental difundir los avances de nuestros programas en las diversas áreas. En este número presentamos algunos de los trabajos desarrollados en el programa de "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas" (P.C.H.), o sea centrales con

capacidad instalada menor a 5 MW. Estas unidades deberán tener un impacto importante en el aumento de la productividad de los trabajos del campo y en la tecnificación de la producción agrícola, ganadera y agroindustrial.

Por razones de espacio, no fue posible publicar en este número todos los trabajos realizados sobre el tema, sin embargo, pueden los interesados escribir a OLADE para solicitar mayor información y copia de los trabajos que aquí no se incluyen, entre los que destacan:

1. Situación y perspectivas de la tecnología y equipamiento para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Latinoamérica.
2. Requerimientos y metodologías para la implementación masiva de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Latinoamérica.

Ing. Gustavo Rodríguez.



# EL DESARROLLO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS EN LATINOAMERICA Y EL CARIBE

El presupuesto energético del modelo de desarrollo predominante en la Región, es la abundancia y la accesibilidad a la adquisición económica del petróleo. Sin embargo, a partir de la crisis en 1973 y de la perspectiva del agotamiento de las reservas, se hizo patente que el modelo "petróleo intensivo" presentaba serias limitaciones para responder a la demanda consecuente de un crecimiento sostenido, acentuando aún más las diferencias entre sectores sociales.

Un cálculo estimativo indica que las reservas de petróleo y gas en la Región podrían ser insuficientes para cubrir la demanda hacia fines de este siglo, aun cuando la totalidad de estos combustibles fósiles se consumieran sólo en ella. Por otra parte, la importación del déficit de otras regiones del planeta es altamente improbable debido a la situación de las reservas globales y a los problemas de orden económico.

Estas reflexiones indican que, si el objetivo buscado es el desarrollo armónico de la Región, debe establecerse un modelo de aprovechamiento energético que ponga en juego la potencialidad de todos sus recursos disponibles. Para ello, deberá necesariamente adoptarse un pluralismo tecnológico en materia energética que permita responder, de manera adecuada, a cada problemática específica.

En numerosos estudios quedó demostrado que en los sectores sociales de muy bajos niveles de consumo energético, incrementos relativamente pequeños en el mismo se traducen en mejoras más que linealmente proporcionales en algunos aspectos relacionados a la calidad de vida humana. Este hecho se vuelve particularmente relevante en el sector rural, donde la no resolución de sus necesidades energéticas ha contribuido al mantenimiento de situaciones de extrema precariedad y miseria.

El desarrollo e implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (P.C.H.) podría contribuir de manera significativa a la solución de los problemas antedichos. Si bien es cierto que los principales problemas del medio rural latinoamericano y de los sectores sociales marginados no son únicamente de carácter energético, la resolución de los mismos está vinculada a las interrelaciones que operan en la estructura global; una de cuyas variables de alta significación es la energía.

Si bien en América Latina se han desarrollado iniciativas individuales conducentes a la evaluación y desarrollo de Pe-

queñas Centrales Hidroeléctricas, se puede decir, que en general se carece de un enfoque mancomunado a largo plazo y de una visión general (tanto tecnológica como institucional, económica, social, industrial, etcétera) para su implantación masiva. Esta situación es en parte resultado de la descoordinación existente no sólo entre países de la Región, sino también entre instituciones de un mismo país.

Consciente de este panorama y de la importancia que para los países de la Región adquiere esta fuente energética renovable, OLADE ha iniciado una etapa de profundización de sus actividades en el tema de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas con la ejecución de un programa regional de P.C.H. que responde a sus objetivos fundamentales de promoción, coordinación y orientación a los Estados Miembros, respecto a nuevas fuentes de energía.

## 1. Síntesis de la situación socioeconómica de la región

América Latina está conformada por un conjunto de países aún no desarrollados y con aspiraciones y problemas socioeconómicos cuyas realizaciones y resoluciones tienen un común denominador.

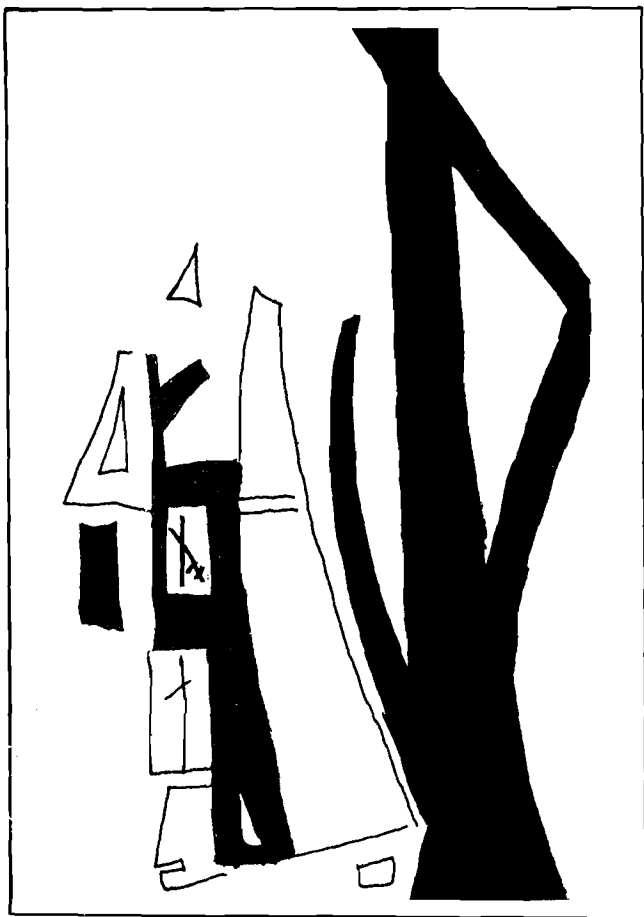
Un gran porcentaje de su población humana está distribuido entre grandes concentraciones urbanas, mientras que en el habitat rural la población se encuentra dispersa o localizada en pequeños núcleos humanos; alrededor del 40% y del 51%, respectivamente.

La búsqueda de fuentes de trabajo y de mejores condiciones de vida ha motivado la emigración desde el medio rural hacia las ciudades, generando graves problemas socioeconómicos e institucionales.

El ritmo de crecimiento de la población humana localizada en el medio rural, a nivel de la Región, es del 1.14%, y en muchos países tiende a disminuir por la emigración de población hacia los centros urbanos.

Debido al grado de dispersión de un alto porcentaje de la población rural (75.9%), no es factible en términos económicos incorporar a todos sus integrantes a los sistemas de electrificación nacionales.

El modelo de producción predominante, en términos de la magnitud de la población humana involucrada en él, puede



definirse como de autoconsumo o subsistencia simple e incluye, además de las pequeñas unidades agrícolas, intercambios comerciales similares al trueque, artesanías del género agroindustrial e industria rural elemental o doméstica, y micro intercambio de bienes de consumo con núcleos humanos de mayor magnitud y nivel de ingresos.

## 2. Síntesis del Sector Energético

Las reservas energéticas totales de América Latina constituyen aproximadamente el 5% de las reservas mundiales. Considerando la producción energética total, incluyendo los combustibles vegetales, ésta alcanza al 6% mientras que el consumo total de energía sólo representa el 4.5% del total mundial.<sup>1</sup>

En relación con el comercio internacional de energía, América Latina participa en el 11.5% de las exportaciones y en el 8.8% de las importaciones.

Los niveles de consumo de energía primaria de origen comercial por habitante son, en general, reducidos ya que representan sólo un 22% de los valores medios europeos. El consumo de las áreas rurales y sectores sociales marginados es aún menor.

Para el total de América Latina los hidrocarburos aportan el 77.3% de la producción y el 64.7% del consumo, lo

cual contrasta con el 21.3% que dichas fuentes aportan al total de las reservas de energía.

Los recursos hidroeléctricos están subutilizados contribuyendo con sólo un 15% del consumo energético y un 10% de la producción total de energía, mientras representan el 66.6% de los recursos energéticos de la región.

Otras fuentes convencionales y no convencionales de energía como el carbón mineral, la energía nuclear y la geotermia, han tenido escasa utilización.

En relación con el origen del abastecimiento energético, es importante destacar que América Latina es básicamente una región importadora de energía.

La posición importadora de la mayoría de los países se debe casi exclusivamente al petróleo y sus derivados y en menor medida al carbón, ya que las otras fuentes son totalmente locales.

## 3. El Subsector Eléctrico

El subsector eléctrico en América Latina es de escasa significación si se compara con el mismo de los países europeos, ya que los niveles de consumo medio por habitante no superan al 20% de los niveles alcanzados en Europa.

La difusión del servicio eléctrico es reducida ya que en el conjunto de América Latina alcanza sólo al 50% de la población. En el sector rural de la Región, la prestación del servicio eléctrico es de escasa significación, estimándose en promedio, que no más del 15% de su población está relativamente abastecida. En este sector el servicio eléctrico es deficiente, discontinuo y en muchos casos se suministra parcialmente durante las horas de mayor demanda.

## 4. Recurso Hídrico

América Latina, por sus favorables condiciones climaticogeográficas, posee un potencial altamente significativo de recursos hídricos, inexplorado y no cuantificado.

En general, los recursos hídricos utilizados se aplicaron a la satisfacción de algunas necesidades básicas de sectores minoritarios de la población: en irrigación, navegación y generación de electricidad, principalmente.

El aprovechamiento de la hidroelectricidad en la región se encuentra aún en una primera etapa de desarrollo y está orientado, en la mayoría de los países, a la ejecución de grandes proyectos tendientes a satisfacer necesidades de energía de las grandes concentraciones humanas, y concurrentes en

<sup>1</sup> Estudio sobre requerimientos futuros de FNCE en América Latina, Fundación Bariloche, República Argentina, enero, 1979.

los sistemas de interconexión eléctrica nacionales.

La cuantificación y utilización de los recursos hídricos disponibles para desarrollar las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, como una respuesta a las necesidades de dotación de energía a los habitantes y actividades de las comunidades rurales y a la población humana dispersa, no han sido generalmente consideradas en los diseños de políticas de desarrollo de los países de la Región.

La inadecuada información hidrológica y climatológica existente dificulta la correcta evaluación de los recursos, haciéndose imperativo reforzar las entidades encargadas de la recopilación y procesamiento de datos relativos a gastos, así como el desarrollo de técnicas y metodologías no convencionales de evaluación aplicables a cuencas menores de 250 km<sup>2</sup>.

### 5. Fuentes Energéticas Alternativas

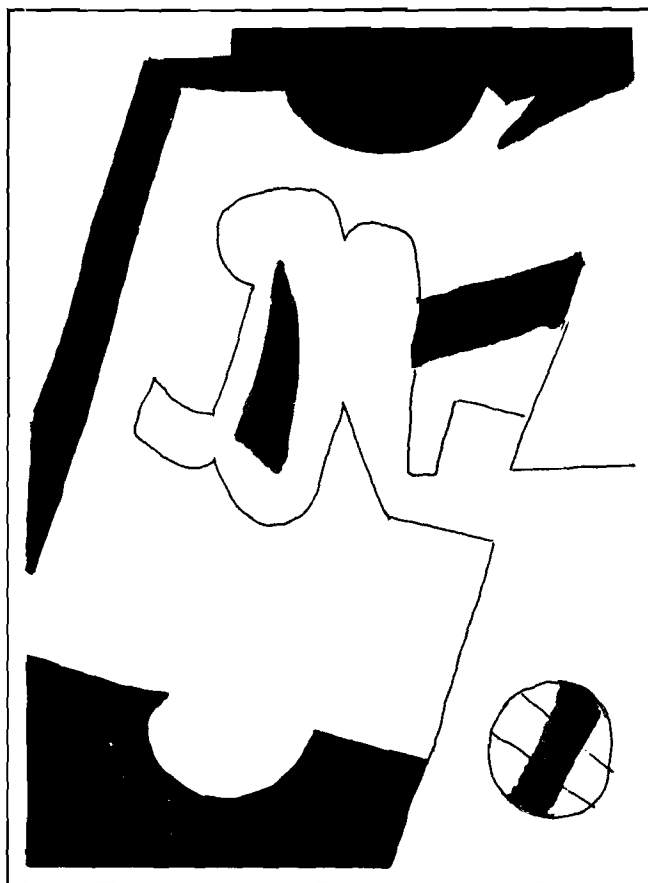
El desarrollo de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas ha de jugar un papel muy importante en el abaratamiento de los costos y accesibilidad a las fuentes de energía, así como en la sustitución de los combustibles fósiles que en la mayoría de los países son importados. En consecuencia, contribuirá a la disminución de la dependencia.

Las reservas conocidas de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón), van en disminución a la par que se incrementan sus precios bajo un comportamiento inestable e impredecible en el corto plazo (las reservas de la Región, estimadas en el año 1978, totalizaron  $4.911 \times 10^9$  TM en equivalente de petróleo).

Aunque el desarrollo de una central hidroeléctrica requiere costos de inversión inicial relativamente elevados, comparados con plantas térmicas de igual capacidad, se ha demostrado que a largo plazo las plantas hidroeléctricas son económicamente rentables, con una mayor vida útil, (esto con un adecuado manejo del ecosistema involucrado) sin estar sujetas a los incrementos en los precios de combustibles durante su operación.

Los efectos ambientales negativos de una Pequeña Central Hidroeléctrica son mínimos y de más fácil control comparados con centrales que operan a base de combustible. Salvo pequeños conflictos emergentes de las alternativas de uso de agua y tierra, los efectos en la calidad, cantidad y disponibilidad del agua son nulos.

Con relación a otras fuentes no convencionales de ener-



gía, las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas cuentan con tecnologías más desarrolladas y al alcance de muchos países de la Región. En otras fuentes de energía, como la solar, biogas, etcétera, las tecnologías están en etapas de desarrollo y perfeccionamiento. Desde el punto de vista económico las otras fuentes no convencionales de energía, al grado de desarrollo de la tecnología actual, no compiten con las centrales hidroeléctricas en igualdad de condiciones.

### 6. Impacto previsible de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

La construcción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, especialmente en áreas rurales no electrificadas, puede incidir en el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores, permitir la instalación de pequeñas industrias, y agregar elementos positivos para el funcionamiento de escuelas, centros de salud, comunicaciones, pequeño comercio, etcétera. La irrigación mediante sistemas accionados hidráulica o eléctricamente puede mejorar la producción y motivar al productor para la reconversión económica de la misma.

### 7. Tecnología y Producción Industrial de Equipos

La expansión, en términos de difusión masiva de la construcción y puesta en funcionamiento de las P.C.H., debe ser precedida primero, y luego marchar a la par del desarrollo de la tecnología básica para su ejecución y de la industrialización

del equipamiento requerido para atender las particularidades de cada área de localización de aquéllas.

Los avances registrados en cuanto a tecnología y producción de equipos para pequeñas centrales son aún insuficientes en términos de la atención a los problemas particulares de cada uno de los países de la Región. No obstante muchos de ellos producen equipos adecuados para potencias reducidas, cuya expansión podría iniciarse de inmediato.

Algunos de los países que están adelantando programas de explotación de sus recursos hidroenergéticos en pequeña escala parecieran no estar preocupados o no disponer de los recursos necesarios para el desarrollo de tecnologías propias. Sin embargo, cabe destacar los esfuerzos que se están realizando en algunos países.

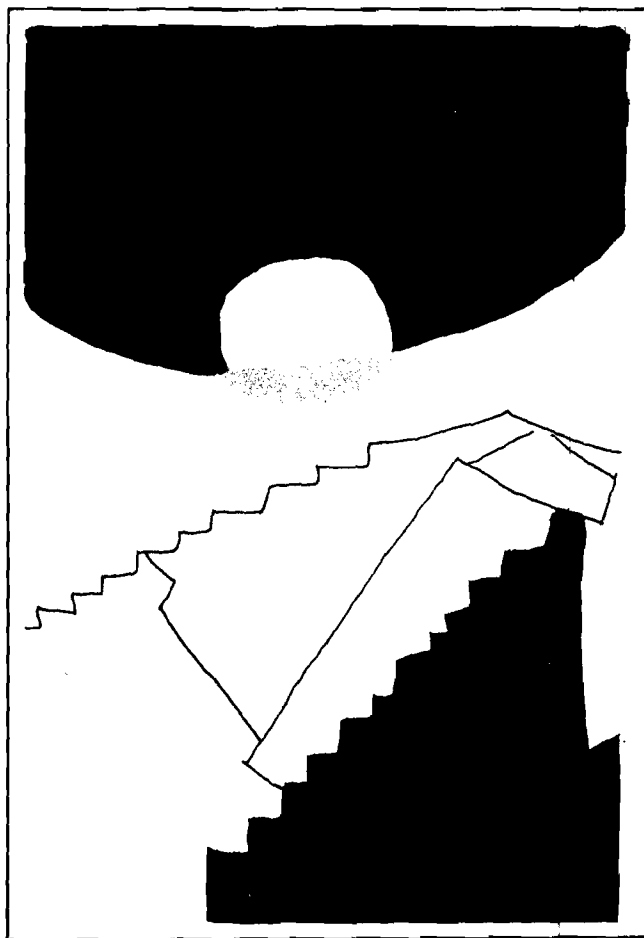
#### 8. Posibilidad de uso de Recursos Locales en la Construcción de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

De acuerdo con la experiencia acumulada en la construcción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, tanto en la etapa de obra civil como en la de fabricación de los equipos, es posible y recomendable la utilización de tecnología, materiales y mano de obra de cada país ejecutor. Materiales tales como piedra, grava, arena, madera, cemento y barras de acero liviano, se encuentran disponibles en prácticamente todos los países de la Región. Queda por estudiar la posibilidad de utilización de materiales livianos no convencionales como PVC, polietileno, asbesto-cemento o concreto reforzado, para tuberías de presión.

#### 9. Elaboración de Estudios

El planeamiento y ejecución de una Pequeña Central Hidroeléctrica requiere la elaboración de algunos estudios previos: reconocimiento, factibilidad, diseño, para los cuales es necesario contar con equipos de topógrafos, geólogos, ingenieros civiles, ecólogos, mecánicos, eléctricos, etcétera, así como disponer de los instrumentos necesarios para llevar a cabo los estudios: agrimensura, sondeo, aforo de ríos, laboratorio de suelos materiales, especificación de equipos, etcétera.

En la mayoría de los países existe una cierta disponibilidad básica de personal humano y equipos para la ejecución de los estudios. Para ello, la ejecución de un programa intensivo de desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas



deberá ir acompañado de un plan acelerado de entrenamiento de personal local hasta la obtención del número mínimo necesario.

#### 10. Operación, Mantenimiento y Reparación

Una de las ventajas más significativas de las plantas hidroeléctricas, sobre las plantas a base de combustible, son los bajos costos de operación, mantenimiento y reparación, así como la facilidad de manejo de la planta, lo cual posibilita que su manejo sea realizado por personal local con conocimientos básicos de mecánica y electricidad, luego de un corto periodo de entrenamiento.

#### 11. Clasificación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

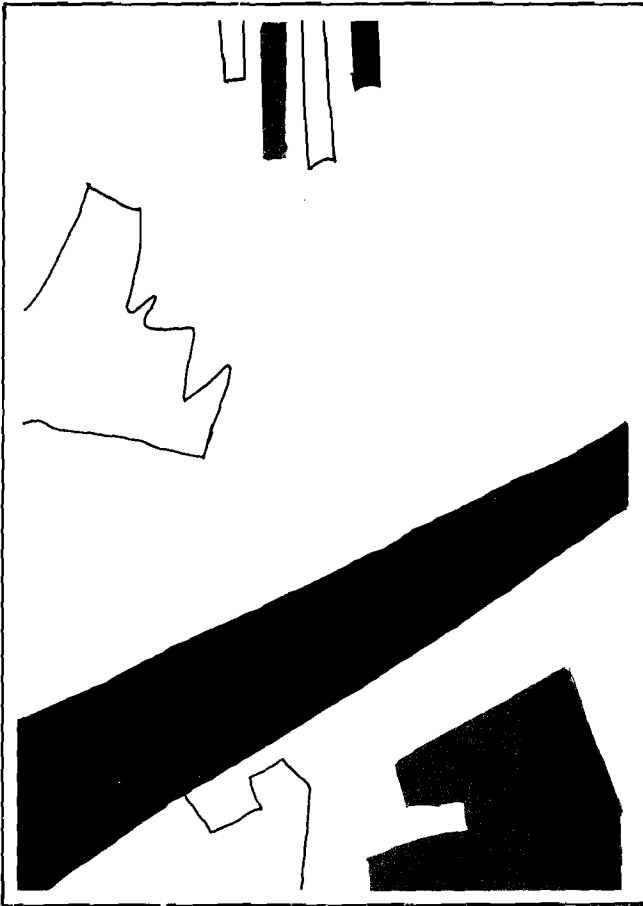
Se considera necesario clasificar las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas según diversos criterios, tanto con respecto a parámetros técnicos como en relación a su aplicación.

Cabe destacar que las magnitudes límites de potencia y salto o caída tienen un carácter sólo aproximado y referencial, debiendo evitarse interpretaciones excesivamente rígidas.

##### a) Definición General

Una Pequeña Central Hidroeléctrica es una instalación donde se utiliza la energía hidráulica para generar reducidas





cantidades de electricidad hasta 5000 kW aproximadamente, por medio de uno o más conjuntos o grupos turbina/generador.

b) Clasificación según Potencia y Salto

Es necesario adoptar una terminología que permita una adecuada diferenciación desde un punto de vista tecnológico y constructivo. A tal fin se adoptó el criterio siguiente:

empleada tanto para el conjunto como para la agrupación correspondiente al rango mayor.

c) Clasificación según la forma de utilización

- La captación puede ser a filo de agua (toma desde un río) o con embalse.
- La operación diaria puede ser continua o discontinua.
- Por su regulación puede ser regulable (manual o automática) o de carga constante (el exceso puede disiparse o utilizarse en aplicaciones complementarias).

d) Clasificación según su vinculación con el sistema eléctrico

- Centrales aisladas
- Centrales integradas a pequeñas redes comunales
- Centrales integradas a una red nacional
- Centrales para centros productivos aislados (auto-productores tales como la pequeña minería, industria, agroindustria, etcétera).

e) Clasificación según su Concepción Tecnológica

Es bastante difícil realizar una clasificación general según

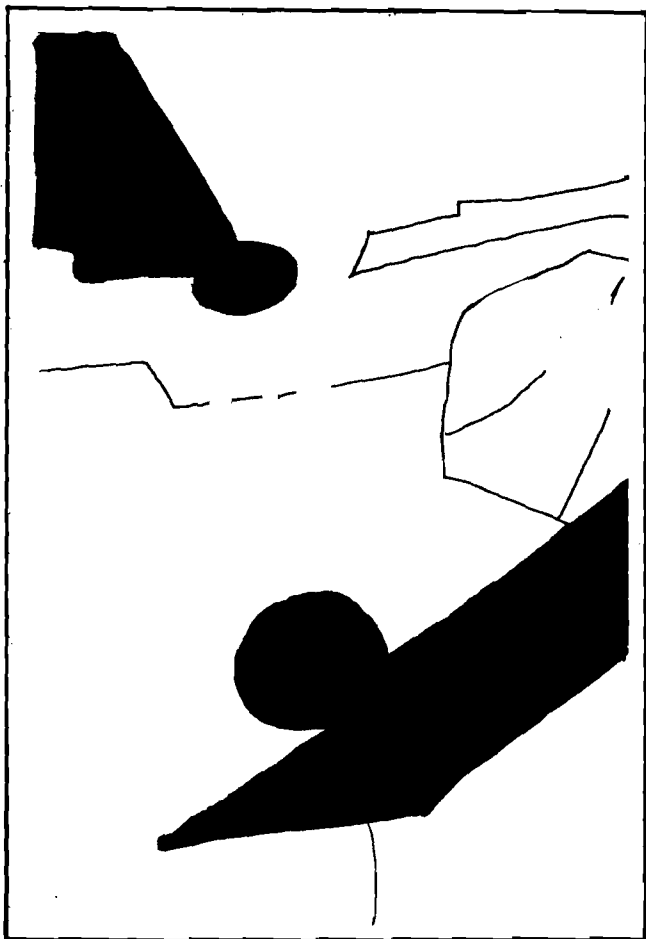
RANGO DE POTENCIA

	kW	Bajo	Salto mt. Medio	Elevado
Microcentrales	hasta 50	menos de 15	15-50	más de 50
Minicentrales	50-500	menos de 20	20-100	más de 100
Pequeñas Centrales	500-5 000	menos de 25	25-130	más de 130

- Los rangos de potencia y salto son indicativos solamente.
- Los saltos bajos, medios y elevados corresponden aproximadamente al empleo típico de turbinas Axiales, Francis o Michell-Bankí y Pelton, respectivamente.
- La denominación "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas" es

los aspectos tecnológicos involucrados, ya que son significativos principalmente para cada uno de los elementos que constituyen una central. Sin embargo, en forma cualitativa, se puede considerar la siguiente:

- Centrales con Tecnologías Convencionales. Se consideran



obras civiles de calidad en la toma, canal y cámara de carga; desarenador en toma, tuberías de acero, equipo electromecánico diseñado y construido según normas de países desarrollados, tableros ampliamente instrumentales, etcétera.

- Centrales con Tecnología no Convencionales. Se consideran frecuentemente la utilización y mejora de tomas y canales de riego existentes, la cámara de carga instalada en línea sobre el canal, e incluye el desarenador, tuberías de presión en materiales no metálicos, equipo electromecánico diseñado y construido con tecnologías apropiadas a las condiciones específicas del país, tableros modulares simples con un mínimo de instrumentación, etcétera.

#### IV. ESTRATEGIA DE DESARROLLO

Si bien existen características comunes a todos los países latinoamericanos, las que permiten perfilar lineamientos de acción general para el desarrollo de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en la Región, los elementos diferenciales existentes en cuanto a potencial hídrico, nivel de desarrollo económico-social, población, etcétera, exigen que cada país diseñe una estrategia propia de aprovechamiento de esta alternativa tecnológica.

##### 1. Planeamiento y Programación de Desarrollo

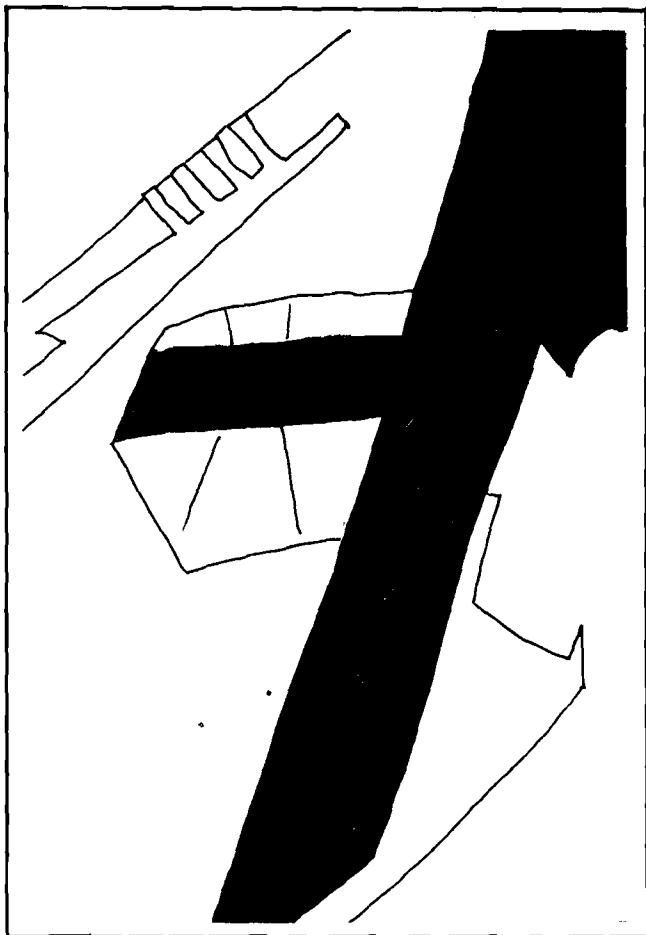
Se propone lo siguiente:

a) Es recomendable que cada país cuente con una unidad de planeamiento encargada del desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

b) Es recomendable que cada país formule un "Plan de Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas", íntimamente relacionado con un plan de Ordenamiento Territorial, referido al uso del agua, principalmente en lo que respecta al aprovechamiento hidráulico con fines agrícolas, agua potable, etcétera. El Plan de Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, debería proyectar acciones a corto, mediano y largo plazo, considerando entre otros aspectos los siguientes:

- Evaluación global de la demanda eléctrica del universo de las poblaciones rurales aisladas, sobre la base de estadísticas existentes, y evaluación detallada basada en muestras significativas en las cuencas consideradas.
- Evaluación de cuencas y análisis estadístico del potencial hidroenergético en pequeña escala.
- Estudios de sustitución y complementación de fuentes energéticas alternativas renovables.
- En los programas de desarrollo de riego y canales deberá considerarse el aprovechamiento hidroenergético en pequeña escala.
- Estrategia de Desarrollo de la Tecnología del equipamiento y materiales, en coordinación con las entidades responsables de la investigación tecnológica.
- Políticas de adquisición de tecnología.
- Políticas de adquisición de equipamiento.
- Política institucional y esquemas empresariales para pequeñas centrales hidroeléctricas.
- Políticas de captación de recursos para la inversión.
- Políticas financieras.
- Criterios de evaluación de proyectos.
- Requisitos para la elaboración de estudios.
- Políticas tarifarias.

c) Es recomendable la preparación de programas bienales de desarrollo de proyectos específicos cada año, incluyendo la evaluación de la ejecución del programa correspondiente al año anterior. Estos programas deberán ser elaborados por las entidades responsables de la coordinación o ejecución de los proyectos.



## 2. Aspectos Jurídicos e Institucionales

En América Latina existen esquemas estatales, mixtos y privados en las empresas de electrificación, con predominio de las empresas estatales.

En muchos países el monopolio estatal de la electricidad, bajo diferentes modalidades de centralización y descentralización, ha dado resultados positivos en el desarrollo de electrificación. Sin embargo, es frecuente la visualización de problemas organizativos y de elevados costos de inversión y operación cuando el esquema centralizado se aplica en forma muy rígida para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Si bien las formas jurídicas e institucionales dependen de las políticas gubernamentales de cada país, es posible sugerir formas organizativas mixtas que combinen la participación de las empresas de electrificación estatales con organizaciones cooperativas comunales y municipales, en el caso de capacidades intermedias, como sería por ejemplo de 500-5000 kW. Para las potencias menores, hasta 500 kW, se podría considerar la formación de empresas municipales, cooperativas y comunales autónomas, con contratos de servicios con las entidades de electrificación (proyectos, mantenimiento, entrenamiento de operadores, etcétera).

Cabe destacar la importancia de la participación de la población rural en la ejecución de proyectos de Pequeñas

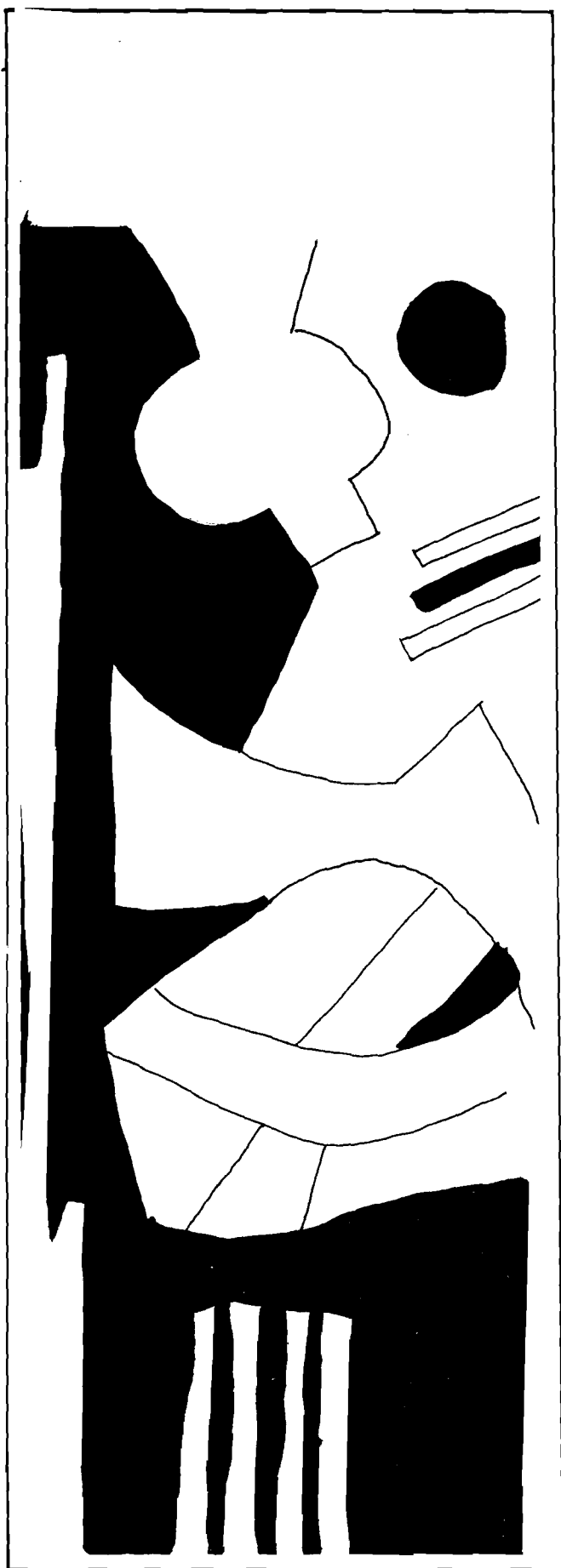
Centrales Hidroeléctricas, en el marco de esquemas organizativos flexibles que permitan que el Estado provea dirección y asistencia técnica, fondos y equipamiento, mientras que la población rural asuma la iniciativa de proveer la mano de obra necesaria, algunos materiales tales como los agregados del concreto y el acarreo de materiales y equipo.

Las principales ventajas de establecer formas institucionales que permitan la participación de las organizaciones comunales y municipales son:

- Reducción de las inversiones aparentes, al maximizar la participación local en el proyecto.
- Mejores condiciones para superar conflictos en el uso del agua (riego vs. generación).
- Posibilidad de establecer descuentos en la tarifa como reconocimiento de los aportes individuales en la ejecución de la obra (mano de obra, semovientes, materiales, herramientas, etcétera), como instrumento para incentivar la participación de la mayor parte de los miembros de la comunidad.
- Mayor facilidad para inspecciones y control de capacidad instalada de consumo, considerando que en muchos casos no se emplearán medidores eléctricos.
- Menores costos de operación, al emplear mano de obra local.

Sin embargo, también deben señalarse algunas restricciones que deben ser obviadas, tales como:

- Posibilidad de escasa calificación de la mano de obra local que participaría en el proyecto.
- Motivación desigual entre los miembros de la comunidad, en términos de participación en el proyecto.
- Dificultad de cumplir plazos de ejecución de obras. El planeamiento de la ejecución debe ser cuidadoso a fin de obviar las limitaciones en la disponibilidad de mano de obra local durante los periodos de siembra y cosecha.
- Posibilidad de escasa experiencia administrativa y empresarial para el manejo de la central.
- Necesidad de un programa intensivo de calificación de operadores locales.
- Relativo desconocimiento, en la población rural, de los beneficios que se pueden derivar del desarrollo energético.



Por otra parte, también se ha observado que en la mayor parte de los países latinoamericanos, la legislación sobre el uso de agua para fines energéticos no tiene un carácter promocional y los criterios de autorización no difieren mayormente según las diversas magnitudes de los proyectos. Igualmente, los trámites administrativos son muy lentos, pudiendo constituirse en uno de los principales obstáculos para la ejecución de proyectos. Es recomendable adecuar la legislación a los diferentes casos que se presenten, otorgando facilidades especiales cuando se trata de pequeñas potencias y cuando los usuarios de la energía son los mismos usuarios del agua para fines agrícolas.

### *3. Evaluación de Recursos Hidroenergéticos en Pequeña Escala y Demanda de Poblaciones Rurales.*

La mayor parte de los países latinoamericanos están desarrollando programas de evaluación de sus recursos hidroenergéticos, pero casi siempre con un énfasis en la evaluación del potencial aprovechable en gran escala.

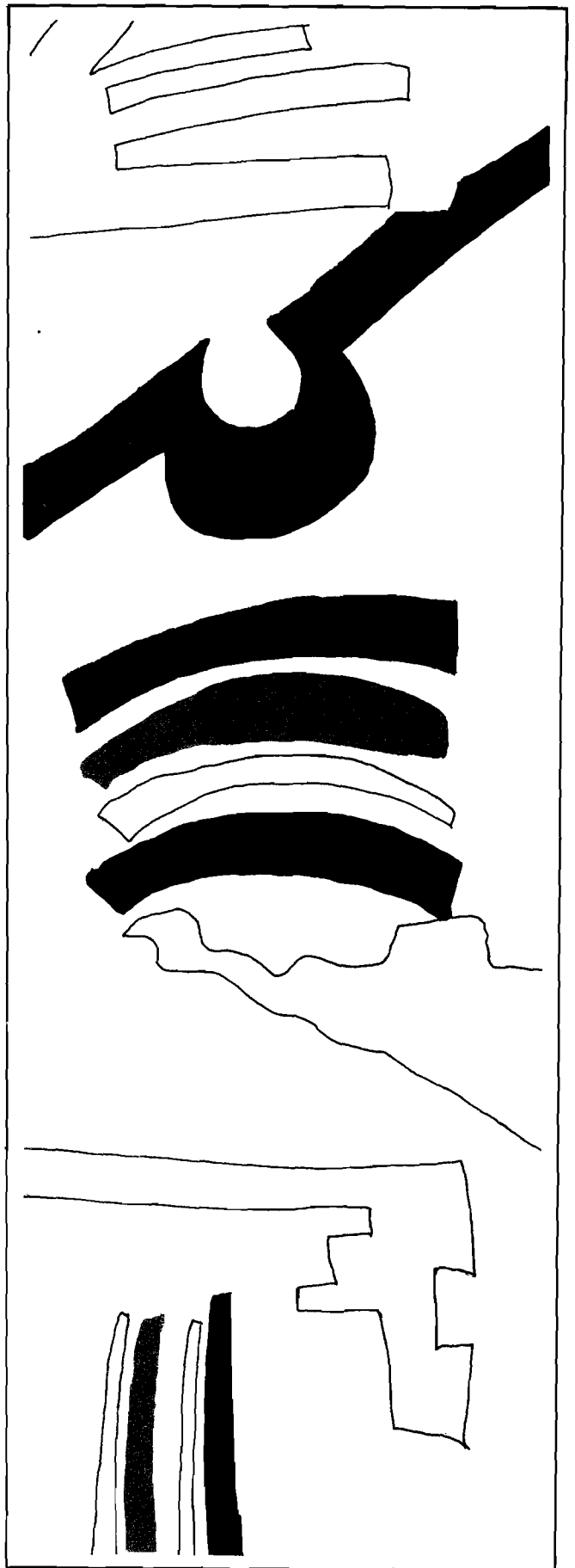
Es conveniente impulsar programas de evaluación de recursos hidroenergéticos aprovechables en pequeña escala, en los cuales corresponde considerar lo siguiente:

- La necesidad de establecer prioridades de evaluación por cuencas, considerando tanto la importancia del recurso hídrico, como las características demográficas, económicas y sociales de las poblaciones localizadas en la zona, en el marco de que normalmente se utilizará la energía eléctrica en la misma zona, sin integrarse con sistemas interconectados.
- Que en una primera etapa la evaluación de recursos hidroenergéticos no siempre podrá ser puntual, identificando proyectos específicos, sino que en alguna medida deberá tener un carácter estadístico.
- Que la evaluación del recurso deberá estar asociada con la evaluación de la demanda localizada en las poblaciones de una zona, estableciendo parámetros de proyección de demanda verificados por medio de muestras significativas e identificando conjuntos de poblaciones que podrían ser eventualmente atendidas con un pequeño sistema de generación de media tensión del orden de 10 kW, y poblaciones aisladas que pueden ser atendidas con una pequeña central y en algunos casos a baja tensión.

- Que a partir del punto anterior, será necesario proceder a la identificación y evaluación aproximada de proyectos específicos, ubicando posibles saltos y mediciones aproximadas de caudal.
- Que en la evaluación preliminar de proyectos podrán usarse métodos aproximados de medición, tales como altímetros, o sistemas de nivelación por medio de cuerdas y nivel de carpintero para la determinación del salto. En la medición aproximada de caudales podrán usarse desde sistemas simples de flotador hasta molinetes y vertederos.
- Que en la mayor parte de los casos no se contará con información histórica de aforos, deslizamientos, etcétera y en consecuencia deberán realizarse encuestas locales e inspecciones visuales para la selección preliminar de emplazamientos.
- Que los programas de inversión a corto plazo deberán ser independientes de los proyectos de evaluación global de recurso y demanda, a fin de no retrasar la ejecución de proyectos prioritarios.
- Que las evaluaciones globales del recurso deberán incluir estudios geológicos y geomorfológicos que constituyan referencias útiles para la identificación de proyectos específicos, pero sin embargo, en la evaluación preliminar de dichos proyectos no convendría exagerar el énfasis sobre los estudios geológicos detallados, sino más bien restringirse a evaluaciones cualitativas.
- Que en la evaluación del recurso hídrico deberán considerarse los otros usos del agua, principalmente el riego, a fin de establecer criterios de complementación con el desarrollo energético.
- Que también deberán evaluarse las características de canales de regadío existentes, sus posibilidades de mejoramiento y ampliación, así como sus posibilidades y limitaciones para su utilización combinada para fines de generación.

#### 4. Tecnología y Abastecimiento de Equipamiento

La situación de los países de Latinoamérica, respecto a tecnología y suministro de equipos, es muy variada dependiendo tanto del nivel relativo de desarrollo industrial de cada país, sus políticas tecnológicas, los esfuerzos realizados en investigaciones y desarrollo, así como de la experiencia



industrial adquirida en la fabricación de equipos.

Dependiendo de las políticas propias de cada país, se considera que en primer lugar debe darse énfasis a los programas de investigación tecnológica a fin de desarrollar la tecnología de diseño y fabricación de equipamiento de acuerdo con las condiciones y posibilidades de cada uno de aquéllos.

En segundo lugar, cuando no resulte viable el desarrollo tecnológico en determinados tipos o tamaños de equipamiento, se debería considerar la adquisición de tecnología que permita la implementación industrial de equipamiento.

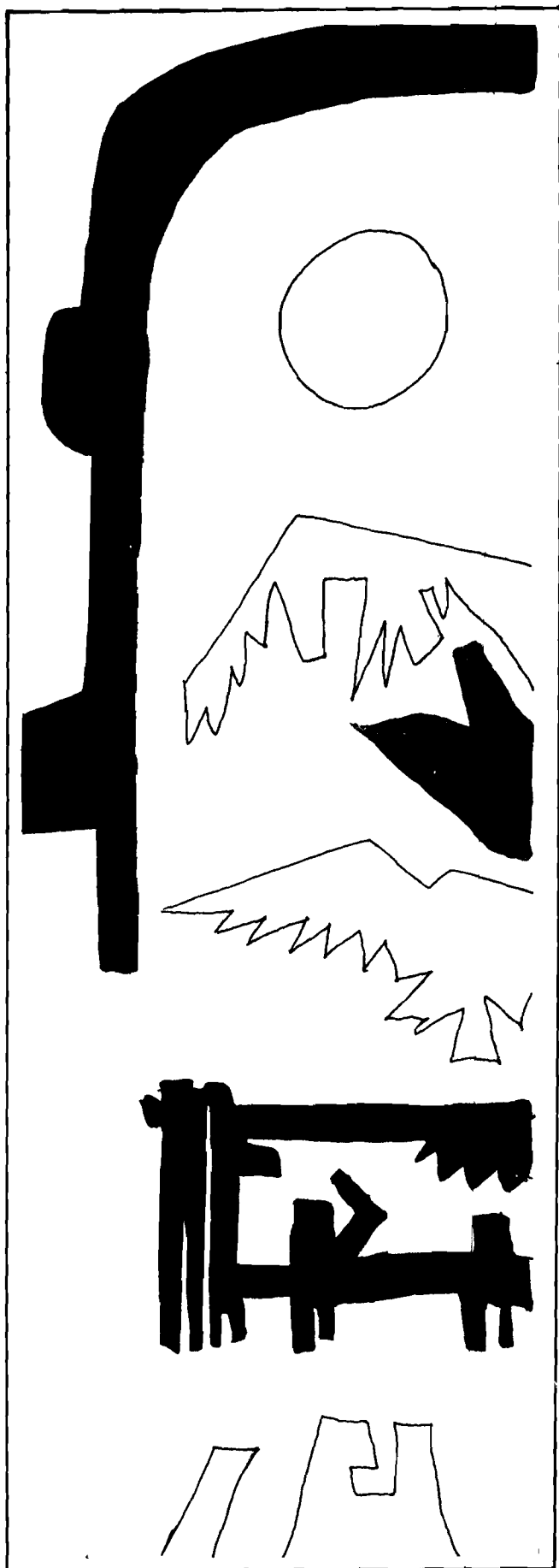
En tercer lugar, en los casos donde no resulte viable la producción de equipamiento debería considerarse la importación de equipos.

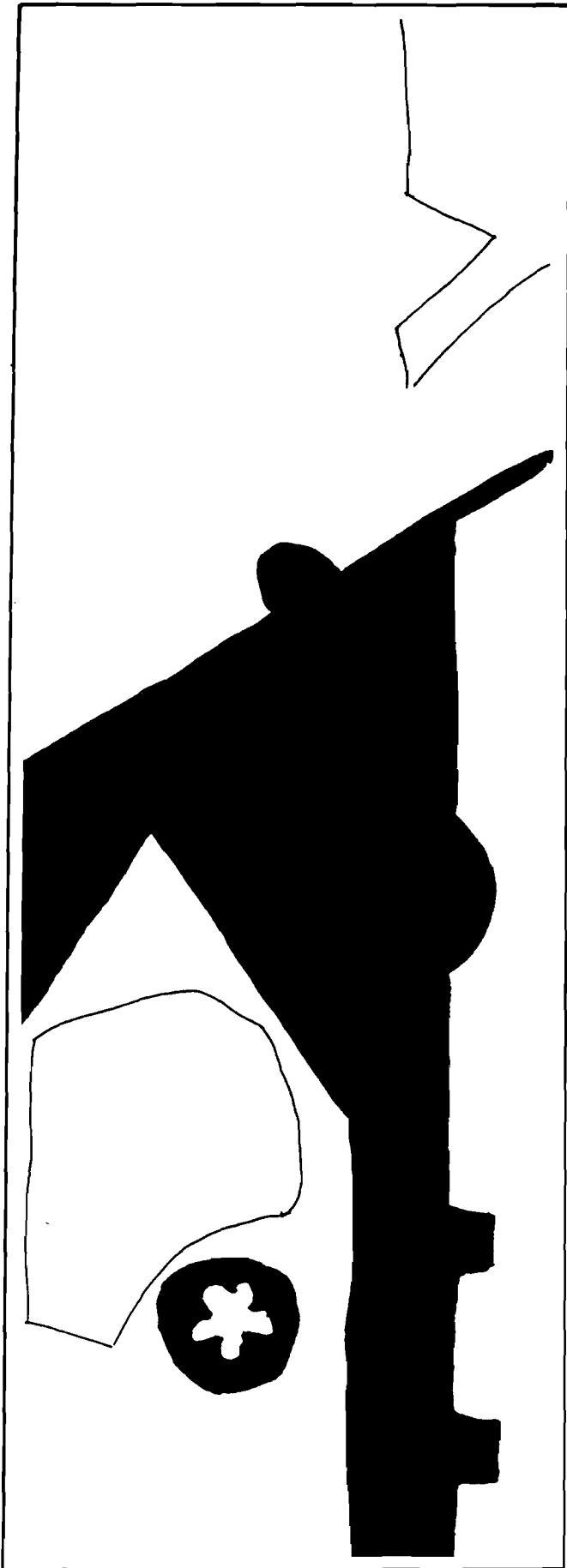
En los tres casos antedichos es necesario establecer mecanismos de coordinación y cooperación entre los países Latinoamericanos a fin de asegurar un abastecimiento regular de equipos de origen regional.

#### a) *Investigación y Desarrollo Tecnológico*

En la medida de las posibilidades y políticas tecnológicas de cada país, se considera altamente prioritario el desarrollo de un programa de investigación tecnológica sobre pequeñas centrales hidroeléctricas por las razones siguientes:

- Permitiría maximizar las posibilidades de desarrollo de tecnología de diseño y fabricación de equipos adecuados a las condiciones específicas del país.
- Posibilitaría la producción de equipos de bajo costo, lo que permitiría reducir la magnitud de las inversiones iniciales.
- Adecuaría el diseño de equipo a los materiales disponibles localmente y a la estructura productiva industrial del país.
- Es necesario definir qué tipo de institución debe asumir la ejecución del desarrollo tecnológico del equipamiento. Puede ser un Instituto de Investigación Tecnológica Industrial del Estado, las universidades, organismos de investigación de las entidades encargadas de la ejecución de proyectos de inversión en pequeñas centrales hidroeléctricas, o empresas industriales dedicadas a la fabricación de equipos.
- Un esquema viable en muchos casos, consiste en que la





responsabilidad de ejecución sea asumida por un Instituto de Investigación Estatal, el cual ejecuta directamente algunos aspectos de la investigación y subcontrata, o encarga aspectos específicos de la investigación a desarrollarse, a universidades que cuenten con investigadores calificados e infraestructura experimental, y a empresas que fabriquen equipos para pequeñas centrales o producciones afines y que estén capacitadas para asumir tareas de investigación orientadas a su implementación industrial.

- La captación de recursos financieros para la investigación depende en gran medida de la estructura institucional que se adopte a fin de garantizar la correcta aplicación de los fondos, los cuales pueden tener su origen en recursos públicos, tributos a las empresas industriales (que pueden ser retenidas por las mismas empresas si ejecutan actividades de investigación o prestan asistencia técnica), o recursos de proyectos de inversión (orientados a financiar plantas piloto en aplicaciones prácticas de electrificación).
- La asistencia técnica internacional que se pueda captar y su utilización efectiva, también están condicionadas a la estructura institucional de investigación tecnológica que se adopte a fin de asegurar contrapartidas económicas efectivas y contrapartes técnicas calificadas, capaces de aprovechar los aportes externos.

Cuando se trata de cooperación técnica bilateral, debe prestarse particular atención y cuidado en la definición de los objetivos y alcances de un programa, a fin de evitar formas encubiertas de venta de tecnología condicionada a objetivos comerciales, lo cual, de ser necesario, debe corresponder a acciones explícitas de negociación de compra de tecnología, en condiciones favorables y no a un otorgamiento de exclusividad encubierto en un programa de asistencia. Igualmente, en todos los casos de asistencia técnica internacional deben establecerse claramente los mecanismos de asimilación efectiva del conocimiento.

En la gestión de programas de asistencia técnica deben considerarse los siguientes aspectos:

- Envío de información técnica.
- Contratación de especialistas extranjeros
- Suministro de instrumentos y equipos de laboratorio.

- Financiamiento para la fabricación local de prototipos.
- Otorgamiento de becas de especialización.

Es necesaria una estrecha coordinación entre la institución responsable de la investigación tecnológica y las entidades encargadas del planeamiento y desarrollo de programas de inversión, a fin de:

1. Asegurar el mantenimiento de objetivos prácticos y realizables en la investigación.
2. Evitar que el proceso de investigación se constituya en un obstáculo al desarrollo de proyectos de inversión que deba avanzar con las tecnologías disponibles.
3. Superar la etapa intermedia entre la culminación de la investigación tecnológica y su aplicación experimental controlada, en determinados proyectos de inversión.
4. Asegurar canales efectivos y rápidos para la aplicación práctica de las tecnologías que se desarrollen satisfactoriamente.
5. Asistencia técnica del equipo de investigación para resolver problemas tecnológicos específicos en proyectos de inversión.
6. Suministrar información técnica referencial sobre equipos y tecnologías existentes a la institución que ejecuta la investigación tecnológica.
7. Asegurar la colaboración técnica de la institución que desarrolla el programa de investigación, en la evaluación de los casos en que se requiera adquirir tecnología y en la evaluación de la adquisición de equipos importados.
8. Desarrollar tecnologías que se adapten al potencial productivo industrial del país, asegurando que su implementación resulte viable.

La investigación tecnológica de los equipos, debe considerar la siguiente secuencia de acción para cada proyecto:

1. Recopilación de información.
2. Formulación del proyecto de investigación.
3. Financiamiento del proyecto.
4. Constitución del equipo de investigadores y la distribución o encargo de aspectos de la investigación a otras entidades.
5. Análisis básico, principios teóricos y metodologías de diseño.

6. Definición de los alcances experimentales (laboratorio y/o planta piloto).
7. Diseño y construcción de modelos y/o prototipos.
8. Prueba y experimentación de modelos y/o prototipos, correcciones.
9. Retroalimentación y corrección de metodologías de diseño.
10. Elaboración de diseños de detalle de series industriales de los equipos, incluyendo listas de materiales y métodos de fabricación, considerando también criterios de estandarización e intercambiabilidad de componentes.
11. Aplicación práctica controlada de la tecnología desarrollada en proyectos de inversión.
12. Implementación de la producción industrial del equipo.

La tecnología desarrollada debe orientarse a la simplificación de la instalación, puesta en marcha y operación de los equipos, en forma tal que se adapte a la participación de las comunidades locales en los proyectos.

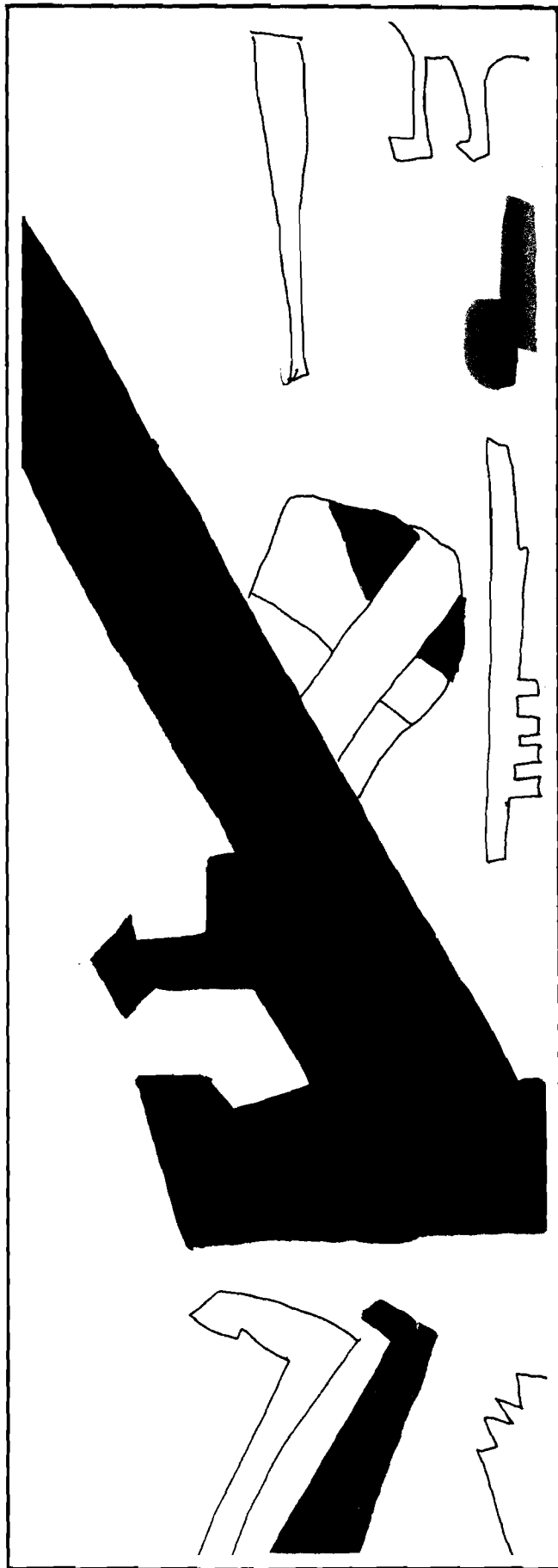
Se deben desarrollar equipos adecuados para funcionar en condiciones desfavorables, tanto en lo que respecta a mantenimiento como a operación.

La eficiencia de los equipos cuya tecnología se desarrolle deberá ser la más alta posible a fin de asegurar una adecuada economía del recurso hídrico, tamaños y costos razonables del equipo y funcionamiento confiable. Lo antedicho, siempre y cuando la mayor eficiencia dependa de un buen diseño y permita maximizar el uso de materiales locales.

Conviene iniciar el desarrollo de la investigación tecnológica para aplicaciones de baja potencia en un rango aproximado de 5-50 kW, a fin de asegurar un proceso de adquisición de experiencia y conocimientos minimizando riesgos financieros y técnicos. Según el avance y la experiencia alcanzada, se podrán orientar los trabajos de investigación a las potencias mayores, 50-500 kW, y luego pasar al rango de 500-5000 kW.

En cuanto a los tipos de saltos por considerar en el desarrollo de las tecnologías específicas de los equipos y materiales, deberán decidirse en función de las características de los recursos aprovechables y de la magnitud de energía por generar. Así, por ejemplo, en un país montañoso con limitados caudales de agua debería preferirse el desarrollo de turbinas de baja velocidad específica, mientras que en





países con llanuras y abundantes recursos hidráulicos con pequeñas caídas debería darse prioridad al desarrollo de turbinas de alta velocidad específica.

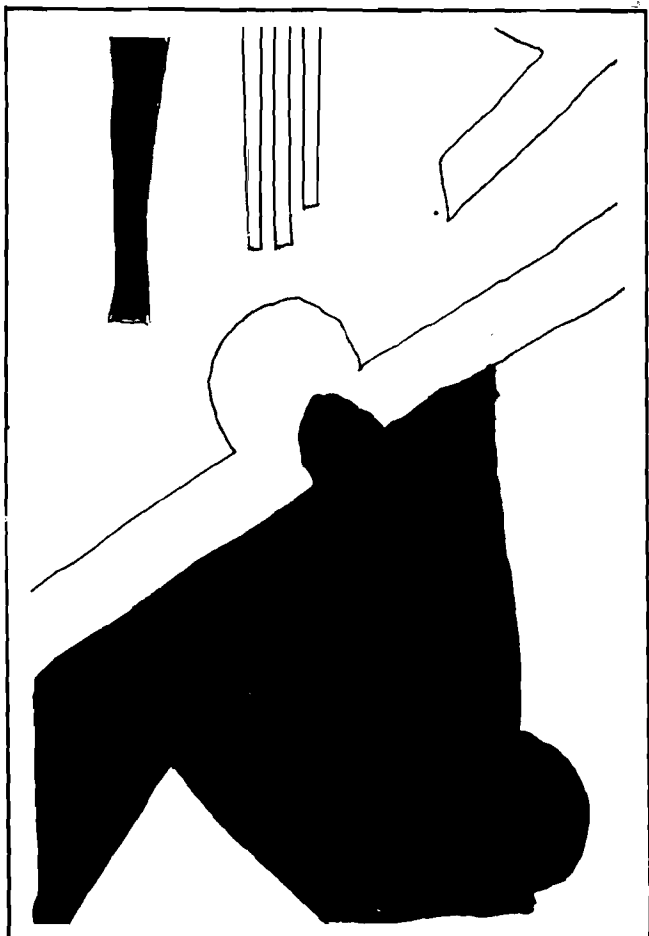
De acuerdo con las políticas de desarrollo industrial de cada país, y de la amplitud de sus programas de inversión en pequeñas centrales hidroeléctricas, se deberán seleccionar los equipos que ameriten destacarse para el desarrollo de tecnología. A continuación se mencionan algunas líneas de investigación específicas que merecen ser consideradas:

- Compuertas, rejillas, válvulas.
- Tuberías de presión, alternativas no metálicas, tales como PVC, polietileno, asbesto-cemento, madera, etc.
- Turbinas hidráulicas.
- Sistemas de transmisión, turbina/generador (para bajas potencias).
- Reguladores de velocidad para turbinas (óleo-mecánicos, eléctrico-electrónicos).
- Alternadores síncronos, sistemas de excitación, reguladores de voltaje.
- Generadores asíncronos, condensadores, reguladores de voltaje.
- Dispositivos de seguridad contra embalamiento.
- Tableros de mando e instrumentación de tipo modular y estandarizado.
- Pararrayos.
- Líneas de baja y media tensión; postes de madera de obtención local y otros tipos.

También deben considerarse en la investigación tecnológica aspectos referidos a las obras civiles e hidráulicas tales como:

- Diseños típicos de tomas y sistemas de captación.
- Diseño y cálculo de canales, estudio de utilización múltiple para fines de riego.
- Diseños típicos de cámaras de carga.
- Diseño de desarenadores en toma y/o en la cámara de carga.
- Diseño y cálculo de anclajes y soportes de tubería.
- Metodología de instalación de tubería y equipos.
- Diseños típicos de casas de fuerza.

Complementariamente, deben formar parte de los traba-



- Elaboración de manuales de evaluación preliminar de proyectos, al alcance de personas sin formación especializada.
- Elaboración de manuales de proyecto y diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.
- Modelos de reglamentos de servicio eléctrico, para administraciones comunales.
- Manuales de operación y mantenimiento, para operadores.

#### b) *Transferencia de tecnología*

Aquí se destacan principalmente los esquemas de venta de tecnología para la fabricación de equipos, bajo la forma de otorgamiento de licencias.

Cuando un país no considere prioritario el desarrollo tecnológico de algunos equipos o tamaños de equipos, o cuando los trabajos de investigación no presenten posibilidades de implementación en plazos inferiores a los requeridos para el desarrollo de la producción industrial de equipos, una opción adecuada es la adquisición de tecnología; la cual debería realizarse a través de un proceso cuidadoso de evaluación y selección de alternativas y considerando, entre otros, los criterios siguientes:

- Asegurar la disponibilidad de varias propuestas alternativas de venta de tecnología, obtenidas bajo los mismos

términos de referencia y evaluándolas con criterios ponderados preestablecidos.

- Los contratos de venta de tecnología deberán tener plazos fijos de duración, a partir de los cuales cesen las obligaciones de pago de regalías.
- Las regalías deberán establecerse sobre un porcentaje de las ventas, evitando la inclusión de cláusulas restrictivas en cuanto a garantizar pagos mínimos.
- No aceptar restricciones en cuanto al ámbito del mercado de colocación de los productos.
- Considerar favorablemente las tecnologías adecuadas a la estructura productiva del país y al empleo de materiales de obtención local, así como a las condiciones locales de utilización.
- No aceptar cláusulas restrictivas en cuanto a la integración de componentes de fabricación local y, en consecuencia, obligaciones de importar partes y piezas.
- La asistencia técnica debe ser parte del proceso de transferencia de tecnología y debe orientarse principalmente al entrenamiento de personal del país que la adquiere.
- Que los gobiernos definan políticas claras de adquisición que fortalezcan la capacidad de negociación de las empresas locales para la transferencia de tecnología.
- Considerar que la adquisición de tecnología resulta justificada, principalmente para la adquisición de equipos de mayor tamaño o complejidad, cuando por sus características rebasen el potencial de desarrollo de tecnología propia.
- El paquete tecnológico que se adquiera debe ser desagregado y restringido a aquellos elementos que sean necesarios, evitando la inclusión de elementos que pueden ser diseñados y fabricados localmente sin apoyo externo.

#### c) *Adquisición de Equipos*

En determinadas condiciones es necesaria la importación de equipos; cuando sus tamaños o características rebasen la capacidad productiva del país. Para este caso se señalan algunas consideraciones que deberían ser tenidas en cuenta, además de los criterios convencionales en cuanto a cumplimiento de especificaciones técnicas, precio y tiempo de entrega:

- En la evaluación técnica de propuestas deberían considerarse factores tales como la capacidad de fabricación

y reparación local de componentes y repuestos, las características de mantenimiento y operación adecuadas a las condiciones de aplicación, capacidad de soportar situaciones derivadas de errores de operación, facilidad de montaje, etc.

- Los equipos adquiridos deberían incluir planos detallados y listas de materiales, a fin de facilitar el montaje, desmontaje y reparación.
- Es necesario contar con cuadros técnicos y equipos adecuados para la realización de pruebas de aceptación. Las instituciones dedicadas a la investigación tecnológica pueden prestar apoyo para este fin.
- La asistencia técnica debe orientarse principalmente al entrenamiento de personal local.

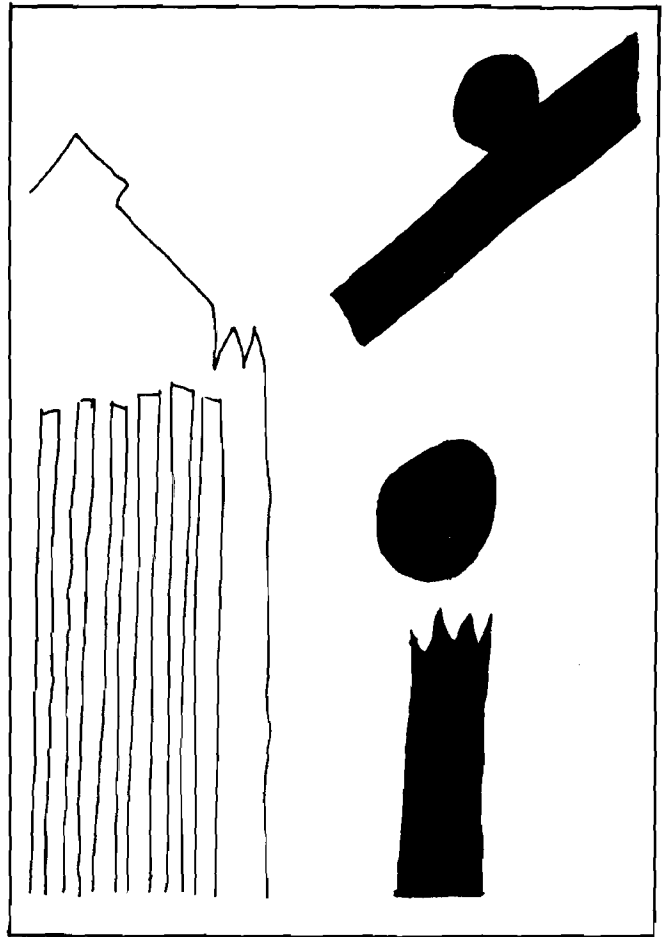
### 5. Elaboración de Proyectos

Los estudios requeridos para un proyecto de inversión específico constituyen uno de los aspectos que caracterizan la diferencia entre las pequeñas centrales hidráulicas y las de tamaños mayores.

Frecuentemente, en Latinoamérica se adoptan ciertos criterios en cuanto a la elaboración de estudios que redundan en :

- Un elevado costo de estudios; a veces alcanzan y superan el 30% de la inversión total del proyecto.
- Un excesivo procesamiento de datos a partir de información de base insuficiente, tanto en los aspectos hídricos, como geológicos, topográficos, diseño de detalle de obras, demanda eléctrica, etcétera.
- Términos de referencia no siempre adecuados a las necesidades de una mayor eficiencia.
- Generalmente tienen un valor simplemente orientativo para la ejecución de proyectos.
- Inadecuación de los cronogramas de ejecución de proyectos.
- No se supera la falta de manuales técnicos para hacer más accesible la elaboración de estudios.
- Difícil selección de consultores idóneos.

Los requerimientos para los estudios deberían ser diferentes, si se trata de casos de pequeñas potencias, inferiores a 50 kW, que en los casos de potencias mayores, de más de 500 kW. Asimismo, las condiciones varían de país a país,



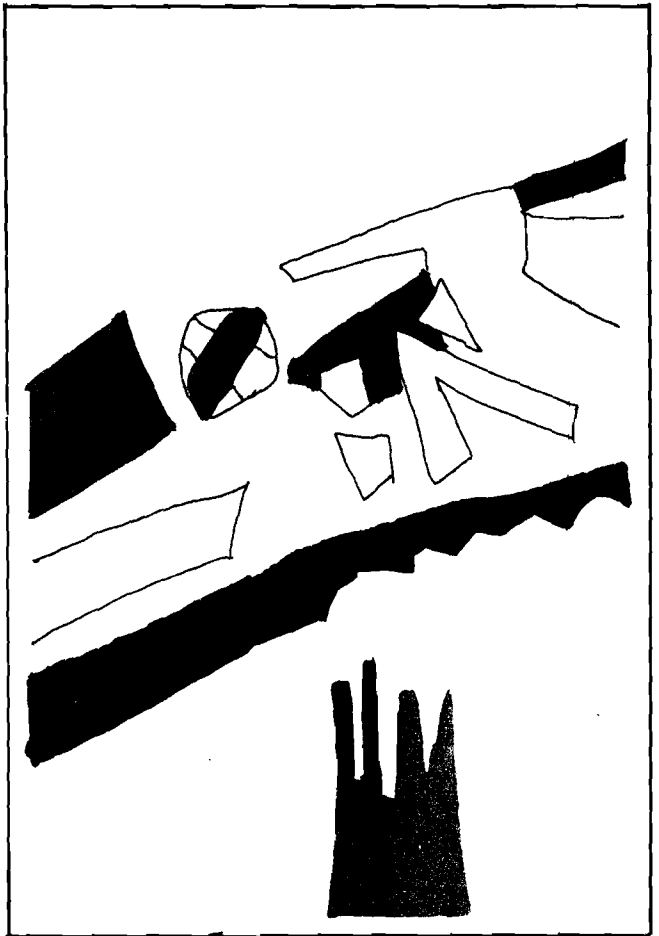
dependiendo de la información de base disponible y de los márgenes de riesgo que asuman. Sin embargo, a continuación se presentan algunas recomendaciones cuya aplicabilidad se deberá evaluar de acuerdo con las condiciones propias de cada país:

- Las evaluaciones preliminares para pequeños proyectos deberán realizarse con base en la recopilación de la información existente; en sistemas elementales de medición de caudales y saltos disponibles, en el reconocimiento visual del terreno y encuestas a la población local para la evaluación histórica del recurso, en antecedentes de avenidas y derrumbes, posibilidades de desarrollo agroindustrial, servicios y requerimientos de iluminación.
- Una vez evaluado un proyecto, establecida su prioridad y programada su ejecución, se deben establecer contactos y acuerdos con la población local para asegurar su participación en la ejecución del mismo.
- Los estudios de prefactibilidad merecen considerarse sólo para los casos donde la magnitud de las inversiones los justifiquen y cuando existan opciones alternativas que convenga analizar, alternativamente se pueden realizar estudios de reconocimiento y evaluación como base para decidir la realización del proyecto, principalmente para el caso de minicentrales.
- La profundidad en el análisis, en los estudios de factibi-

lidad, debe estar relacionada con la magnitud y características del proyecto.

- En muchos casos conviene proceder a la elaboración de estudios de ingeniería de detalle del proyecto cuando exista ya una decisión de ejecución del proyecto y se cuente con información previa suficiente a partir de estudios de prefactibilidad o de reconocimiento, incorporándose los elementos de factibilidad técnico-económico como aspectos complementarios. En este caso debería tenerse en cuenta lo siguiente:

1. Los estudios hidrológicos deberán tener un carácter integral en una cuenca dada.
  2. Los estudios de mecánica de suelos se justifican para las obras mayores como: presas para crear embalses y sus obras civiles accesorias, casas de máquinas, etcétera, y cuando existan incertidumbres y riesgos de importancia. En caso contrario deben realizarse sólo excavaciones y evaluación visual del terreno.
  3. Debe fomentarse la utilización de diseños modulares básicos, adaptados a condiciones específicas.
  4. El levantamiento topográfico y la nivelación deben restringirse a las áreas de mayor interés, y en el caso de las centrales más pequeñas pueden omitirse completamente, salvo en áreas puntuales, toma, cámara de carga, etcétera, y pueden usarse métodos artesanales y trazado de perfiles.
  5. Se debe considerar la posibilidad de utilizar y adaptar obras existentes, tales como tomas artesanales y canales, diseñando y especificando las mejoras por introducirse en forma comprensible para un capataz con experiencia.
  6. Considerar en el diseño las modalidades de acarreo de materiales y nivel de mecanización de las obras.
  7. Considerar prioritariamente el empleo de tuberías de materiales no convencionales (PVC, polietileno, asbestocemento, etcétera), a fin de reducir las inversiones. En algunos casos, como en el empleo de tubos de polietileno, el levantamiento detallado del perfil de caída y ubicación de anclajes no es significativo.
  8. Considerar formas modulares semiestandarizadas para el diseño de la casa de fuerza.
  9. Considerar facilidades mínimas para el mantenimiento mecánico y eléctrico local, y la residencia del operador.
- Se requiere una evaluación cuidadosa de consultores.



Así, para las potencias menores de 50 kW, se debe fomentar la elaboración de proyectos por profesionales no necesariamente especializados para lo cual es necesario editar manuales apropiados.

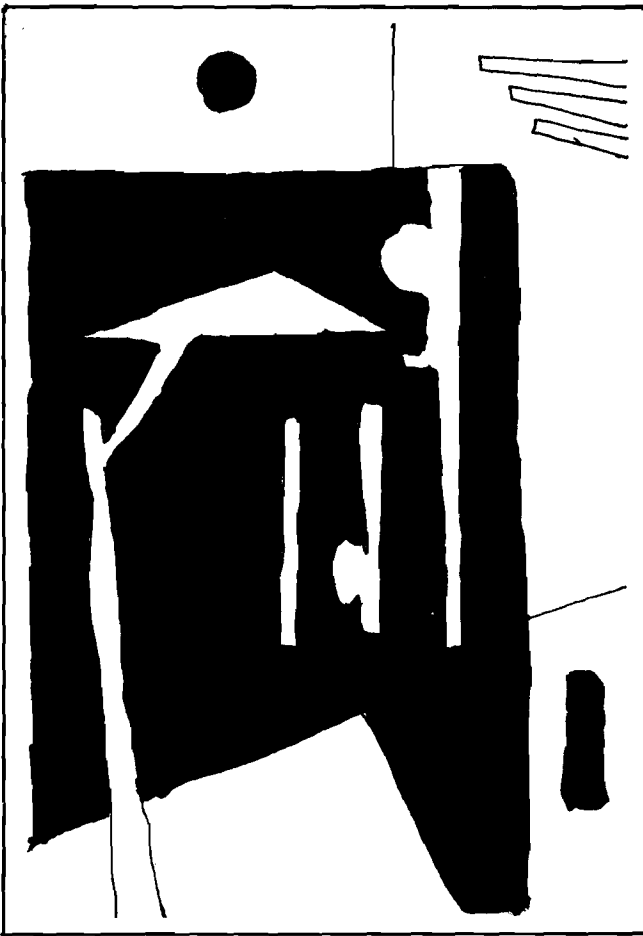
- Las entidades responsables de los proyectos de electrificación deberían tener una capacidad propia de elaboración de estudios. Esto permite tener también una mejor capacidad para evaluar los estudios contratados.

#### 6. Construcción, Instalación y Puesta en Marcha

Las características del proceso de ejecución de obras y puesta en funcionamiento varían enormemente, dependiendo tanto de la magnitud del proyecto, características del terreno, disponibilidad de materiales en la localidad, acceso y distancia de transporte a la zona, capacidad y experiencia de los cuadros técnicos, disponibilidad de mano de obra local, formas y compromisos institucionales para la ejecución del proyecto con las organizaciones comunales, disponibilidad de equipamiento mecánico y política ocupacional.

No obstante lo antedicho, se proponen algunos puntos generales que deberían ser considerados:

- Dependiendo de la estructura de costos, se deberá propiciar el empleo intensivo de mano de obra local en la ejecución de las obras.



- Se debe dar énfasis al empleo de materiales que puedan obtenerse en la zona, tales como arena, piedra, madera, etcétera.
- Se debe estudiar cuidadosamente el cronograma de ejecución de las obras, tomando en cuenta los requerimientos periódicos de mano de obra originados por la agricultura.
- El acarreo de materiales debe ser planeado cuidadosamente, el empleo de semovientes de carga requiere un buen conocimiento de los ritmos de trabajo que pueden aplicarse. La preparación de senderos y la circulación de la carga sin interferencias es muy importante, principalmente en zonas de montaña.
- Para la seguridad del personal deben considerarse sus condiciones concretas de calificación y experiencia. No debe escatimarse el empleo de materiales y equipos adecuados que la garanticen.
- Para la participación de las comunidades locales en las obras deberá considerarse la formación de grupos o brigadas de trabajo, fijando metas y estimulando su cumplimiento.
- El entrenamiento de mano de obra local para trabajos de albañilería y carpintería contribuyen a una mejor ejecución de la obra y a la elevación de las calificaciones ocupacionales de la población.
- Los diseños de ingeniería deberán ser complementados o corregidos durante la ejecución de la obra. En conse-

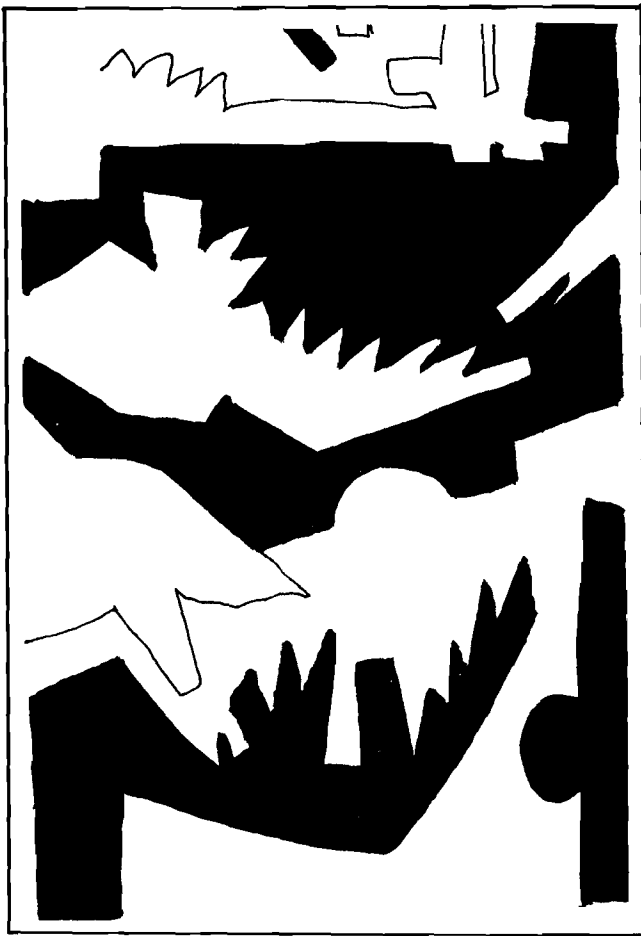
cuencia, la experiencia del capataz o maestro de obras es esencial. En modificaciones que dependan principalmente del terreno, o de las obras existentes, la opinión de los pobladores locales es muy útil.

- Es importante tomar en cuenta que la presencia de técnicos y trabajadores no calificados en la localidad durante la ejecución de la obra plantea situaciones socioeconómicas particulares, que pueden tener aspectos positivos en cuanto a intercambio cultural y social, pero también pueden generar situaciones negativas cuando el personal foráneo no se adapta a los hábitos locales o se generan problemas de comportamiento.
- La decisión final de adaptación o mejora de obras existentes, tales como tomas y canales, debe darse a través del reconocimiento visual del terreno y recogiendo información local.
- La instalación de los equipos normalmente requiere personal calificado. Sin embargo, conviene involucrar en los trabajos a aquellos habitantes de la localidad que potencialmente pudieran ser entrenados como operadores, a fin de familiarizarlos con los equipos e instalaciones.
- Los operadores designados, de origen local, deben participar desde el inicio de la operación de la central.
- Las pruebas de aceptación de la central deben ser estandarizadas bajo protocolos establecidos según los tipos y tamaño de las plantas.

#### 7. Operación y Mantenimiento

Dependiendo del tipo de equipamiento, tamaño de la central y estructura empresarial del servicio eléctrico, se recomienda considerar lo siguiente:

- Se debe dar preferencia al empleo de operadores provenientes de la localidad o zona donde está instalada la central, ya que la incorporación de operadores de origen externo a la localidad incrementa considerablemente los costos operativos, además de la posibilidad de generación de problemas por dificultades de adaptación social.
- El empleo de operadores locales sin una adecuada capacitación no es recomendable, ya que involucra altos riesgos en seguridad personal, conservación del equipo y continuidad del servicio.
- Se recomienda el desarrollo de cursos de capacitación de operadores locales, que incluyan materias referentes a operación, acciones de emergencia, seguridad, elemen-



tos de mantenimiento electromecánico preventivo, reparaciones menores, instalaciones eléctricas, prácticas de mecánica de banco, inspecciones, lectura de instrumentos, tarifas, etcétera.

- Conviene que en las pequeñas centrales hidroeléctricas se considere la vivienda del operador y un taller básico de mecánica de banco e instalaciones eléctricas, con lo que se consigue una mayor estabilidad ocupacional y un mejor mantenimiento.
- Si se han adoptado tecnologías adecuadas en el equipamiento que permitan su estandarización e intercambiabilidad de componentes, es posible asegurar un adecuado suministro de repuestos con un mínimo de stocks.
- Es indispensable contar con manuales de operación y mantenimiento que puedan ser claramente comprendidos por el operador.
- Mientras no existan actividades productivas, establecidas, es frecuente que el empleo de la central tenga un carácter esencialmente nocturno. En consecuencia, es urgente promover dichas actividades para elevar la rentabilidad de la planta y ampliar su impacto económico-social.

#### 8. Inversiones y Costos Operativos

La inversión inicial por kW instalado en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas es en general elevada y tiende a crecer mientras más pequeña sea la central. Las elevadas inversiones determinan que el principal costo operativo sea su

amortización y pago de intereses. Por esta razón, la viabilidad de desarrollar programas de construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas está vinculada a la reducción de las inversiones requeridas.

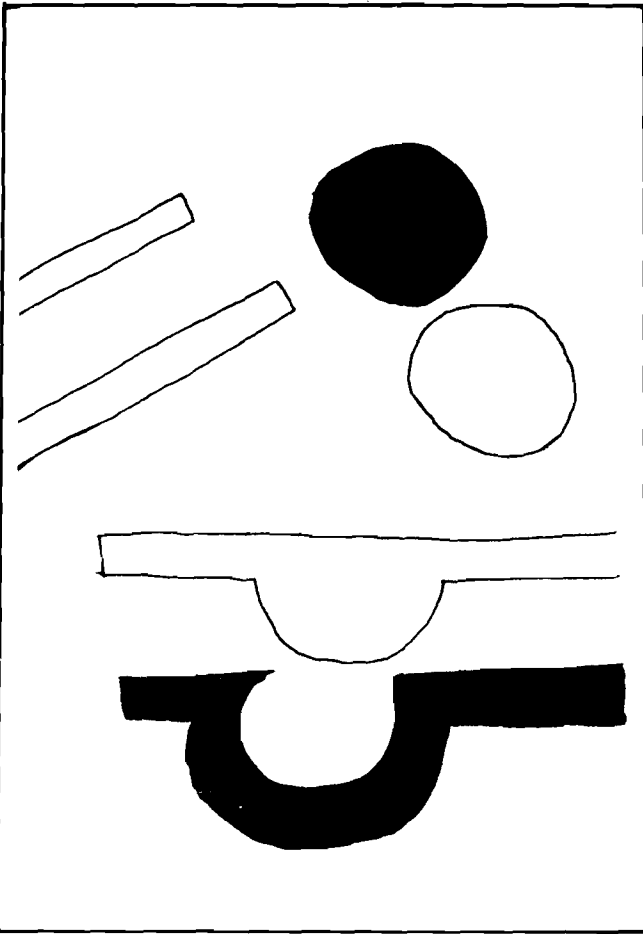
En consecuencia, es conveniente tomar en cuenta que:

- El desarrollo tecnológico debe orientarse al diseño de equipos de bajo costo, principalmente para bajas potencias, aun sacrificando expectativas de vida útil de algunos componentes, cuya reposición debe ser también a bajo costo.
- Las deficiencias en la calidad del equipamiento pueden incrementar los costos operativos.
- La simplificación y estandarización relativa de las obras civiles permiten economías importantes en la inversión.
- La adaptación de obras existentes (toma y canal) permite reducir la magnitud de las obras.
- El empleo de materiales no convencionales en las tuberías también reduce las inversiones.
- El costo unitario de una pequeña central hidroeléctrica puede variar entre US. 800 y US. 3 000 por kW instalado, con base en costos referidos al año de 1978, dependiendo de la capacidad de la planta, de la tecnología empleada, de las características del terreno y su accesibilidad, de la magnitud de la obra y del aporte de mano de obra suministrado localmente y no contabilizado en las inversiones.

#### 9. Financiación y Recuperación de las Inversiones

Se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Es importante diferenciar la naturaleza y objeto de los proyectos de inversión específicos, ya que no se deben emplear los mismos criterios para financiar proyectos de carácter promocional relacionados con la electrificación rural, que los adoptados para proyectos que tienen una orientación inicial hacia actividades productivas (agroindustria, pequeña minería, etc.), en consecuencia, el Estado debe asumir una parte considerable de la inversión sin perspectivas de recuperación. El segundo caso se justifica sólo en el marco de la rentabilidad interna del proyecto. Sin embargo en el primer caso también es importante considerar las posibilidades de desarrollar actividades productivas, ya que es necesario asegurar que la planta pueda por lo menos cubrir sus costos de operación.



## V. EL PROGRAMA REGIONAL DE OLADE

OLADE considera que en Latinoamérica existen condiciones óptimas para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas, en razón de:

- Abundante recurso hídrico aprovechable.
- Gran cantidad de poblaciones rurales aisladas con reducido número de habitantes, grandes distancias entre las poblaciones y geografía accidentada.
- Existe adecuada capacidad y experiencia en planeamiento y programación, aplicables a programas intensivos de desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas.
- Existe infraestructura y capacidad para la investigación y desarrollo tecnológico de equipos adecuados a condiciones concretas.
- Existe capacidad de producción de equipamientos y algunas líneas de producción desarrolladas desde hace varios años atrás.
- Existen organismos regionales y subregionales que pueden contribuir a una más amplia cooperación entre los países latinoamericanos.
- El mercado potencial es suficientemente amplio para sostener el auto-abastecimiento de equipamiento de origen latinoamericano.

En este contexto a partir de enero de 1980 OLADE ha implementado el Programa Regional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, partiendo de la base fundamental que el programa deberá sustentarse en la cooperación entre los países latinoamericanos en sus diversos aspectos, tales como planeamiento y programación, tecnología, abastecimiento de equipos, elaboración de proyectos, etc.

El objetivo principal del programa consiste en promover la implementación masiva de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en la región, como una respuesta parcial al reto del desarrollo del medio rural y de las zonas apartadas aprovechando uno de los recursos energéticos más abundantes de la región.

El cumplimiento del objetivo exige atacar el problema en todas sus múltiples facetas, para lo cual se han determinado cuarenta y seis actividades específicas principales, las cuales se describen en forma sintética en el Anexo 1. Dichas actividades se han agrupado en tres áreas, la primera relativa a aspectos generales del programa y las dos últimas que constituyen los frentes de acción del programa: Tecnología

- Los créditos "atados", frecuentemente incluyen condicionamientos tecnológicos y de origen del equipamiento. En proyectos de pequeña magnitud frecuentemente determinan un incremento excesivo en las inversiones.
- Las entidades financieras de desarrollo, usualmente tratan los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas en forma similar a los proyectos mayores, es por tanto necesario desarrollar esquemas más ágiles. Existen algunas experiencias positivas a nivel regional en las que la factibilidad se sustentó con una muestra significativa de proyectos que forman parte de un conjunto más amplio.
- Convendría que paralelamente al financiamiento de programas amplios de construcción de pequeñas centrales, se consideren fondos de asistencia técnica no reembolsables para proyectos de investigación orientados a apoyar el programa de inversiones.
- Conviene considerar prioritariamente las localidades que tienen un potencial productivo que pueda ser promocionado fácilmente para incrementar la demanda eléctrica. Cabe señalar que en el medio rural el consumo doméstico y público tienen un carácter fundamentalmente vespertino. En consecuencia, el desarrollo de actividades productivas mejora el nivel de utilización de la capacidad instalada. Lo contrario también es válido, o sea que donde se considere instalar una pequeña central conviene promover el desarrollo de actividades productivas que aprovechen la disponibilidad de energía.

y Equipamiento por una parte y Desarrollo de P.C.H. por la otra, tal como se describen a continuación:

a) *Tecnología y Equipamiento para P.C.H.*

Comprende acciones de investigación y desarrollo de tecnología, transferencia de tecnología, adquisición de equipamiento, disponibilidad de materiales y capacidad de producción de equipos, materiales y componentes, desarrollo de capacidad experimental y capacitación con respecto a cuestiones tecnológicas.

b) *Desarrollo de P.C.H.*

Comprende acciones de planeamiento general, evaluación de recursos y demanda, programas de desarrollo a corto plazo, fuentes y condiciones financieras, elaboración de manuales, elaboración de estudios para proyectos específicos. Construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Capacitación para el desarrollo de P.C.H., aspectos institucionales, organizativos y empresariales relacionados con el servicio.

A su vez las áreas principales consideradas, han sido divididas en "Actividades Genéricas" que agrupan actividades específicas tal como se muestra en el cuadro siguiente:

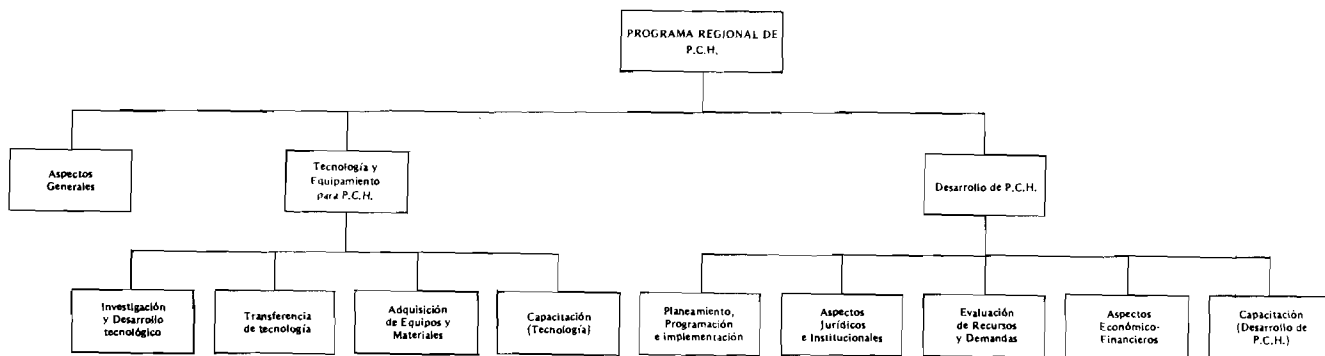
Se ha previsto que las acciones comprendidas en el programa se desarrollarán en un periodo de cinco años, y su realización dependerá tanto del esfuerzo de OLADE como de la disponibilidad de recursos financieros que se obtengan, así como de la participación y apoyo activo de los países de la región y sus instituciones.

El Programa Regional de OLADE pretende constituirse en un instrumento de apoyo técnico y de coordinación entre los países. El desarrollo masivo de las P. C. H. necesariamente responderá a las decisiones políticas e impulso orgánico de cada país para desarrollar esta fuente energética.

Durante el año 1980 se están desarrollando diversas actividades específicas del Programa, tal como se señala a continuación:

A) Aspectos Generales

- Está en proceso de elaboración un Directorio de Instituciones y personas vinculadas al desarrollo de P.C.H. en la región.
- Se realizó la II Reunión del Grupo de Trabajo sobre P.C.H. (Tecnología y Equipamiento) del 21 al 30 de abril de 1980 en la ciudad de Quito, Ecuador, en la cual partici-





paron un grupo de expertos latinoamericanos; en esta ocasión se elaboró el documento "Situación y Perspectivas de la Tecnología y Equipamiento para P.C.H. en Latinoamérica".

- Se realizó la III Reunión del Grupo de Trabajo sobre P.C.H. (Desarrollo) del 17 al 26 de Junio de 1980 en la ciudad de Quito, Ecuador, en la cual participó otro grupo de expertos de la región y se elaboró el documento "Requerimientos y Metodología para la Implementación Masiva de P.C.H. en Latinoamérica".
- La empresa estatal ELECTROPERU ha sido designada como institución patrocinadora del Grupo Asesor de P.C.H.
- Se realizará el I Seminario Latinoamericano sobre P.C.H. del 3 al 7 de noviembre en Bogotá, Colombia, el cual es co-patrocinado por OLADE e ICEL.
- Se han sentado las bases de un sistema de intercambio de información sobre P.C.H., y se elaboró la primera lista bibliográfica.
- Se ha preparado el primer boletín anual de difusión sobre P.C.H. en el contexto de las publicaciones de OLADE.

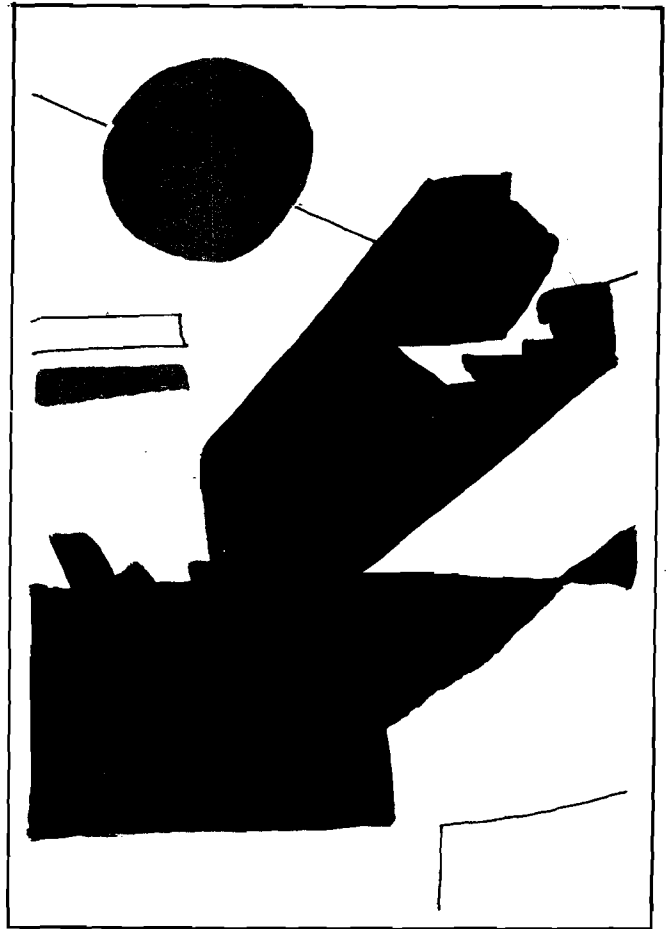
#### B) Tecnología y Equipamiento

- Está en proceso de perfeccionamiento el desarrollo de metodologías de diseño y estandarización de turbina Michell-Banki y Pelton con la cooperación de expertos de ITINTEC (Perú).
- Se ha realizado una identificación preliminar de fabricantes de equipos para P.C.H. en Latinoamérica y se ha preparado un formulario para una encuesta que será realizada en 1981, con miras a preparar un Directorio Regional de Fabricantes.

#### C) Desarrollo de P.C.H.

- Se están desarrollando actividades de cooperación para la implementación de plantas piloto, tendientes a aplicar criterios de simplificación de los estudios de preinversión, aplicación de tecnologías no convencionales y empleo intensivo de equipamiento de origen nacional y regional, en los siguientes países:

Costa Rica  
Cuba  
Ecuador



- Se han preparado formularios para la identificación de P.C.H. existentes en Latinoamérica y la correspondiente hoja resumen para los inventarios nacionales.
- Se ha preparado un formato de datos para la identificación de centros aislados y microrregiones.
- Se han preparado los términos de referencia para una Guía de Orientación para la Elaboración y Evaluación de Proyectos de P.C.H.
- Se han preparado los términos de referencia para un Manual de Elaboración de proyectos de Ingeniería de P.C.H. en Latinoamérica.
- Por encargo de ONUDI, se ha preparado un Manual sobre Minicentrales Hidroeléctricas orientado a servir de herramienta a planificadores y personas que toman decisiones de política. Este manual elaborado por OLADE se orienta al ámbito mundial.
- Se han preparado los términos de referencia para un Manual de evaluación de recursos hidroenergéticos en pequeña escala y de demanda energética rural en Latinoamérica.
- Se han preparado los términos de referencia de los currícula de cursos regionales de especialización en P.C.H. que se implementarán en 1981.
- Se han preparado lineamientos de cursos de capacitación de operadores.



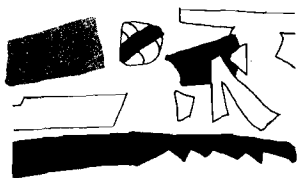
# ANEXO I: SINTESIS DEL PROGRAMA REGIONAL DE P.C.H.

PERIODO 1980-1984

## A. AREA ASPECTOS GENERALES

### *Actividad Específica*

1. Red de Contactos Institucionales e individuales (Resultado: Directorio).
2. Grupos de Trabajo:  
(Resultado: Constitución de dos grupos de Trabajo, uno para tecnología y equipamiento de P.C.H. y el otro para Desarrollo de P.C.H.)
3. Patrocinador del Grupo Asesor:  
(Institución de apoyo a actividades del Grupo Asesor.)
4. Grupo Asesor:  
(Resultado: Nombramiento y reuniones de expertos asesores del Programa de OLADE.)
5. Seminarios Latinoamericanos sobre P.C.H.  
(Resultado: Seminarios Anuales.)
6. Sistemas de intercambio de información técnica (Identificación e intercambio de información.)
7. Boletín Anual de difusión sobre P.C.H. en Latinoamérica.
8. Audiovisual sobre P.C.H. en Latinoamérica.
9. Participación en eventos extrarregionales sobre P.C.H.



### B.I. ACTIVIDAD GENERICA: INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLOGICO (I. & D. T.)

#### *Actividad Específica*

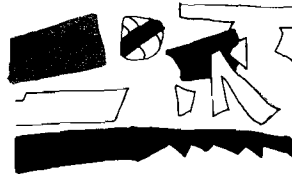
10. Catálogo de Proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico sobre P.C.H. en curso en Latinoamérica.

11. Planes Piloto de Complementación Tecnológica Regional en P.C.H. (Apoyo entre países para impulsar programas de Investigación y Desarrollo Tecnológico.)
12. Ejecución de Trabajos de I. & D. Tecnológico de interés regional (OLADE apoyaría las actividades de investigación y desarrollo a ser ejecutadas por instituciones regionales para uso de los países o las realizaría directamente).
13. Catálogo de Perfiles de Proyectos de I. & D. Tecnológico relativos a P.C.H.
14. Catálogo de Perfiles de Proyectos de Inversión y/o I. & D. Tecnológico relativos a utilización productiva de energía eléctrica en el medio rural.

### B.II. ACTIVIDAD GENERICA: TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA (T.T.)

#### *Actividad Específica*

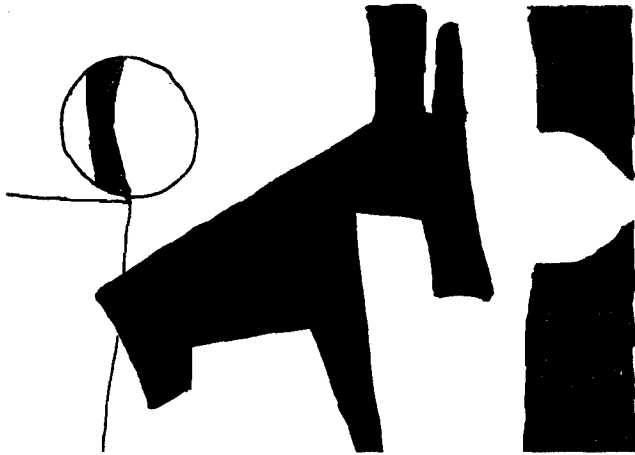
15. Catálogo de Tecnologías disponibles en la región, a nivel de producción industrial de equipamiento y materiales para P.C.H.
16. Folletos de recomendaciones sobre contratos de T.T.
17. Promoción de contratos de T.T. entre países de la región.



### B.III. ACTIVIDAD GENERICA: ADQUISICION DE EQUIPOS Y MATERIALES

#### *Actividad Específica*

18. Catálogo de fabricantes de equipos y materiales para P.C.H. en Latinoamérica.
19. Promoción de contactos entre organismos ejecutores de Proyectos de inversión en P.C.H. y fabricantes de equipos y materiales latinoamericanos.



#### B.IV. ACTIVIDAD GENERICA: CAPACITACION

##### *Actividad Especifica*

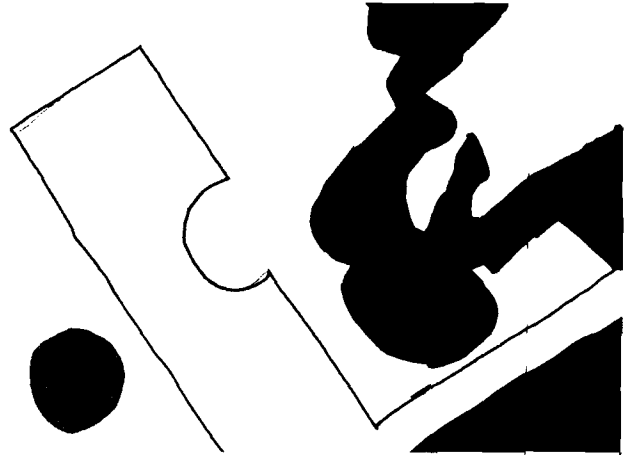
20. Promoción de cursos de postgrado de ingeniería en especialidades afines a P.C.H.
21. Conferencias sobre P.C.H. en Latinoamérica.
22. Coordinación con Universidades de Ingeniería y Escuelas Técnicas de la región para revisión de programas relativos a materias afines a P.C.H.
23. Estudio del rol de la Universidad Latinoamericana en la I. & D. aplicada a P.C.H.
24. Obtención de becas de especialización, investigación y postgrado en materias afines a P.C.H., para profesionales de la región.

#### C. AREA: DESARROLLO DE P.C.H.

##### C.I. ACTIVIDAD GENERICA: PLANEAMIENTO, PROGRAMACION E IMPLEMENTACION

##### *Actividad Especifica*

25. Metodologías de Planificación y Programación del desarrollo de P.C.H.
26. Esquema del Plan Global Latinoamericano para el desarrollo de P.C.H.
27. Proyección a largo plazo del desarrollo de P.C.H. en Latinoamérica (año 2000).



28. Evaluación del estado actual del desarrollo de P.C.H. en Latinoamérica.
29. Proyectos Piloto de Implementación de P.C.H. en Latinoamérica, con criterios para promover la implementación masiva, simplificar estudios, aplicar tecnologías no convencionales y empleo intensivo de equipamiento de origen regional.

##### C.II. ACTIVIDAD GENERICA: ASPECTOS JURIDICOS E INSTITUCIONALES

##### *Actividad Especifica*

30. Situación Jurídica en Latinoamérica con respecto al uso del agua y terrenos para P.C.H.
31. Análisis de formas empresariales y organizativas para el desarrollo de proyectos de inversión y operación de P.C.H.

##### C.III. ACTIVIDAD GENERICA: EVALUACION DE RECURSOS Y DEMANDA

##### *Actividad Especifica*

32. Manual de evaluación de recursos hidroenergéticos en pequeña escala y demanda energética rural.
33. Plan Piloto de evaluación integral Recurso/Demanda en 4 cuencas.
34. Asistencia Técnica a países interesados para iniciar actividades de evaluación Recurso/Demanda para P.C.H.

35. Recopilación de información sobre programas nacionales de evaluación Recurso/Demanda para P.C.H. (Sistema de intercambio de Información.)
36. Estimación Global aproximada del potencial hidroenergético aprovechable en pequeña escala y demanda eléctrica en la región.

#### C.IV. ACTIVIDAD GENERICA: ASPECTOS ECONOMICO-FINANCIEROS

##### *Actividad Especifica*

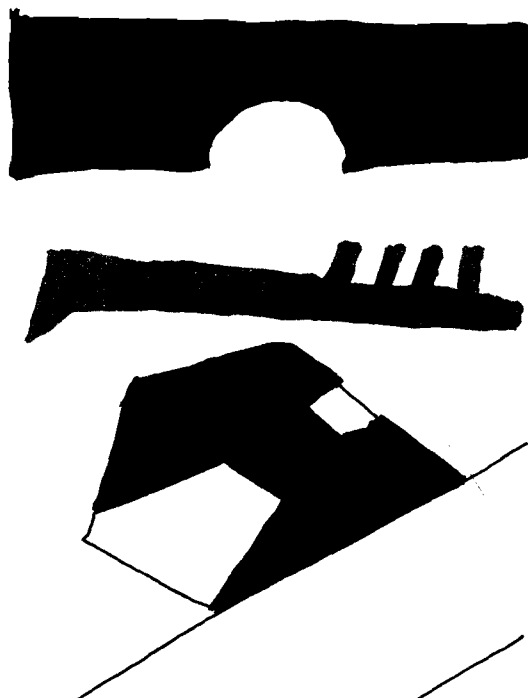
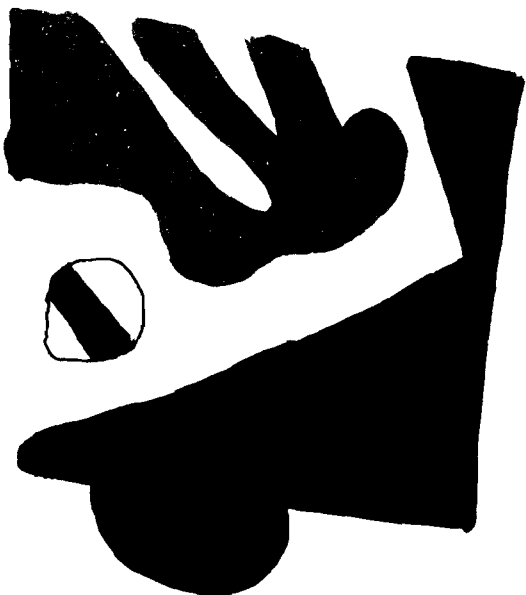
37. Guía de orientación para la Elaboración y Evaluación de Estudios para proyectos de P.C.H. (Alcances y requerimientos para gestionar financiación.)
38. Manual de Elaboración de Proyectos de P.C.H. (Manual de Consulta técnico-económica.)
39. Elaboración de un Manual Básico para orientar a planificadores y personas que toman decisiones de política que no poseen formación especializada en ingeniería (cooperación con ONUDI).

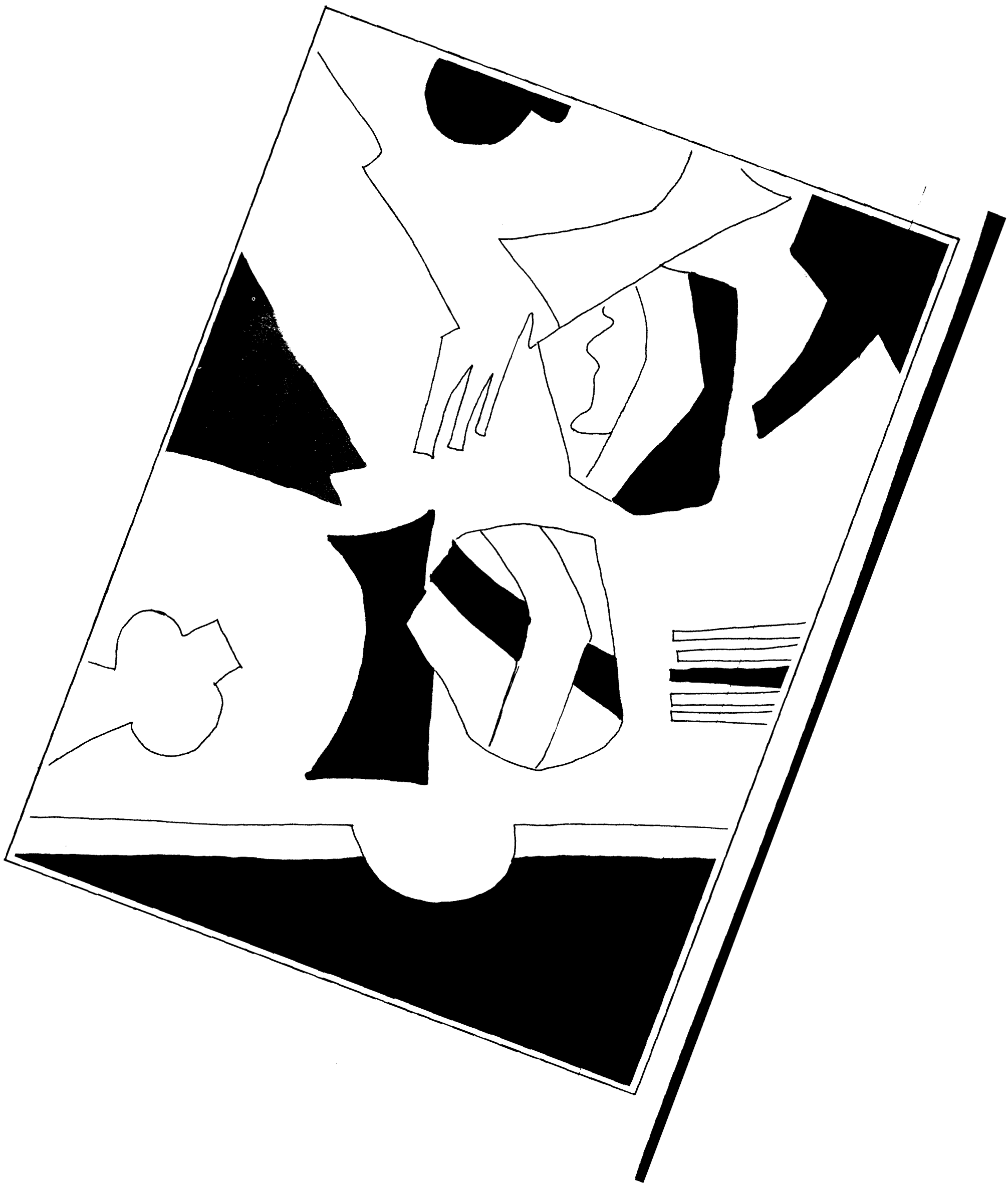
40. Gestión de créditos internacionales a favor de países de la región para financiación de Proyectos de P.C.H.
41. Estudios especiales (Tarifas, análisis de costos de generación, experiencias, participación comunal, etcétera.)

#### C.V. ACTIVIDAD GENERICA: CAPACITACION

##### *Actividad Especifica*

42. Programa de estudios de escuela de operadores de origen rural.
43. Asistencia Técnica para organización y funcionamiento de escuelas de operadores.
44. Manual del Operador de P.C.H. (Referencial, para adaptarse a manuales nacionales.)
45. Estudio de las posibilidades de contribución de las P.C.H. en actividades culturales y educacionales en el medio rural (Impacto, limitaciones, tecnología local, etcétera.).
46. Becas de especialización (Para Ingenieros y Técnicos, a nivel regional y extrarregional.)





# DISEÑO Y ESTANDARIZACION DE TURBINAS MICHELL-BANKI

Ing. Carlos Alberto Hernández Bazo  
Experto del Programa Regional de P.C.H.  
de la OLADE

Quito, Septiembre de 1980.

## Introducción

La Turbina Michell-Banki es una turbina de acción, de flujo transversal, de admisión parcial y de doble efecto. Está formada por un inyector o tobera provista de un álabe directriz encargado de regular el flujo de agua que ingresa a la turbina y un rodete diseñado de modo tal que permita generar potencia al eje de la turbina al recibir doble impulso del flujo de agua que circula por la misma.

La Turbina Michell-Banki es una de las turbinas que presenta mejores perspectivas de utilización en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, principalmente por su simplicidad de diseño y fabricación y por su reducido costo de fabricación y mantenimiento. Puede operar con saltos de hasta 100 metros, llegando a generar potencias del orden de los 1000 kW, con eficiencia de hasta 82 por ciento.

Dado que el diseño de la Turbina Michell-Banki no está muy definido, en el presente artículo se dan a conocer brevemente algunos fundamentos del diseño y una metodología de estandarización de este tipo de turbinas, la cual puede servir como referencia para la producción de Turbinas Michell-Banki en los países latinoamericanos, aprovechando en lo posible la utilización de materiales producidos en la región.

## 1. Diseño del inyector o tobera

El inyector de la Turbina Michell-Banki tiene como función regular y acelerar el flujo de agua que ingresa a la turbina, orientándolo hacia los álabes del rodete con un cierto ángulo promedio denominado  $\alpha_1$  el cual usualmente tiene un valor de  $16^\circ$ .

Geoméricamente se caracteriza por mantener en uno de sus lados una dimensión constante y en el otro la dimensión variable, con el objeto de permitir un aceleramiento del flujo de agua originando a la salida un chorro cuya sección transversal es rectangular. Asimismo posee un álabe directriz que está diseñado para regular y garantizar una buena conducción del flujo de agua a diferentes porcentajes de carga de operación de la turbina. El álabe directriz divide en dos el flujo de agua que ingresa a la turbina, obteniéndose con ello una disminución de la fuerza de accionamiento para fijarlo en distintas posiciones de regulación, cuando la turbina opera a cargas parciales.

El diseño del inyector se basa en que la velocidad de salida ( $C_1$ ) del flujo de agua está dada por:

$$C_1 = K_c \sqrt{2 g H_n}$$

en donde:

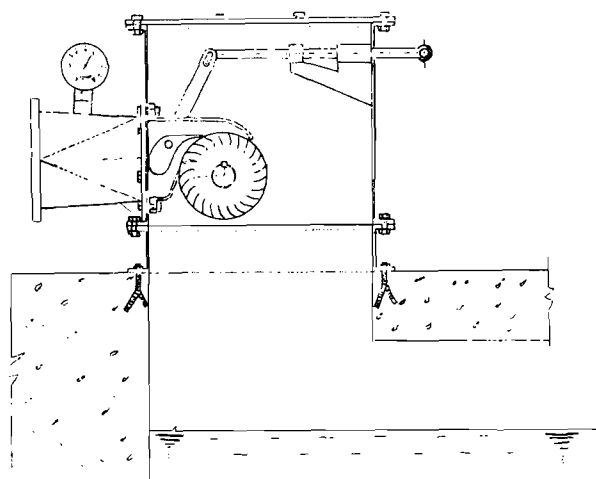
$K_c$ , es el coeficiente de velocidad  
 $g$ , la aceleración de la gravedad  
 $H_n$ , el salto efectivo neto

Asimismo se puede demostrar que el coeficiente de velocidad está dado por:

$$K_c = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H_n}}$$

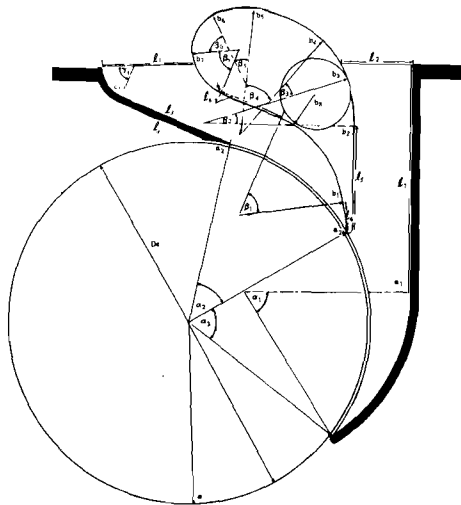
en donde  $\Delta H_i$  es la pérdida de presión por fricción que ocurre en el inyector al convertirse la presión estática en presión dinámica o de velocidad. El valor de  $\Delta H_i$ , se puede determinar en forma muy aproximada utilizando la Ecuación de Darcy:

$$\Delta H = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$$



Turbina Michell-Banki

En donde conociendo la variación del diámetro hidráulico ( $D_h$ ) de la sección del inyector en función de la longitud del mismo y con el dato del caudal, se puede integrar y determinar la pérdida total de presión.



Inyector de Turbina Michell-Banki

Si aplicamos este método a cada tramo en que se divide el flujo de agua en el inyector por acción del álabe directriz, podemos establecer la condición de obtener una igualdad de pérdida de presión en cada uno de ellos y obtener la relación de caudal existente entre los tramos que nos lo garantice.

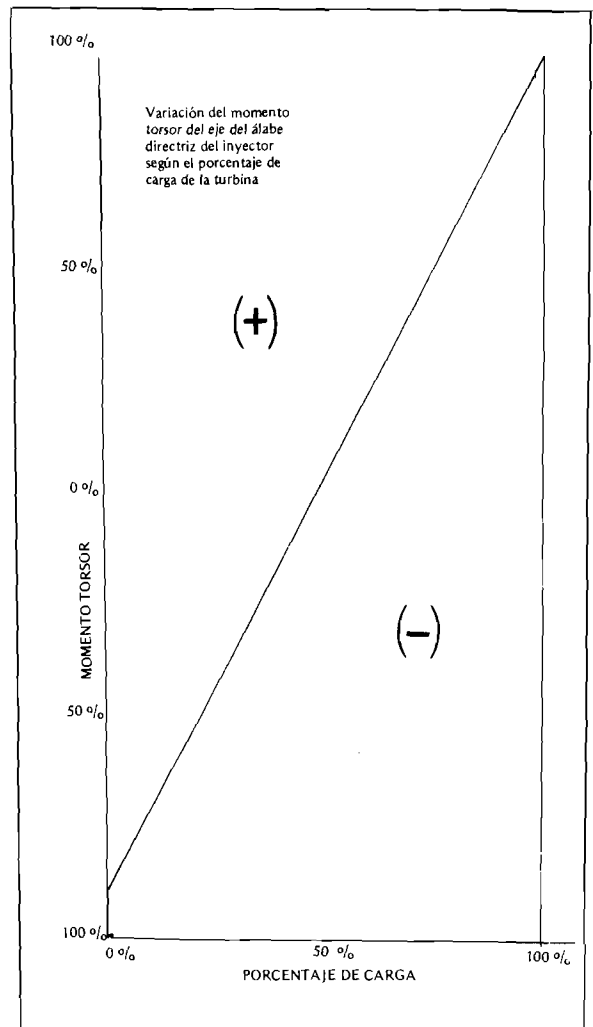
Con base en el análisis descrito se han encontrado relaciones prácticas que nos determinan las dimensiones del perfil del inyector con base en el diámetro exterior del rodete. Asimismo para determinar la dimensión del lado constante del inyector denominada B se aplica la fórmula:

$$B = \frac{Q}{(\pi D_e - eZ) k_o K_c \sqrt{2gH} \sin \alpha_1}$$

en donde:

Q es el caudal máximo que fluye por la turbina  $\frac{m^3}{seg}$

- De es el diámetro exterior del rodete (m)
- e es el espesor de los álabes del rodete (m)
- Z es el número de álabes del rodete (24)
- Ko es el porcentaje del arco de admisión (32%)
- Kc es el coeficiente de velocidad (0.98)
- H es el salto efectivo o neto aprovechable (m)
- $\alpha_1$  ángulo de orientación del chorro de agua al ingreso con respecto a la tangente del rodete ( $16^\circ$ )



Curva del momento torsor del eje en el inyector Michell Banki



## 2. Diseño del rodete

El rodete es el elemento de la turbina Michell-Banki que al girar por acción de un chorro de agua genera potencia al eje.

El principio de funcionamiento del rodete está basado en que el inyector orienta con un cierto ángulo un chorro de agua, el cual toma contacto con los álabes al ingresar al rodete, dándole un primer impulso de giro, para luego atravesar el interior del mismo y tomar contacto nuevamente con los álabes y darles un segundo impulso antes de salir y fluir por la descarga de la turbina.

El diseño del rodete está basado en determinar los diagramas de velocidad en cada etapa de operación, cabe decir al ingreso y salida de la primera etapa y al ingreso y salida de la segunda etapa.

Para determinar la geometría del rodete, a continuación se presentan algunas fórmulas prácticas, cuyas deducciones no se muestran debido a la brevedad del artículo. Todas ellas se pueden deducir teóricamente:

- a. Diámetro interior del rodete en función de su diámetro exterior:

$$D_i = \frac{2}{3} D_e$$

- b. Radio de curvatura del álabe en función del diámetro exterior:

$$r = \frac{D_e}{6.1}$$

- c. Diámetro máximo del eje que atraviesa el interior del rodete en función del diámetro exterior:

$$d_{\text{máx}} = 0.325 D_e$$

- d. Ancho interior del rodete en función del ancho interior B del inyector:

$$B_r = 1.3 B$$

- e. Angulos principales del rodete

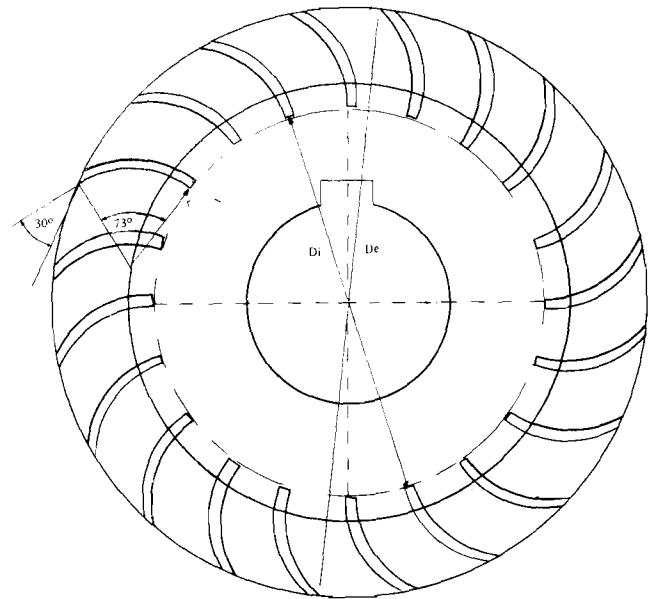
Arco de admisión	= 120°
Arco de curvatura del álabe	= 73°
Angulo del álabe al ingreso del rodete	= 30°
Angulo del álabe en el interior del rodete	= 90°

- f. El espesor del álabe se puede asumir 3 mm.

## 3. Recomendaciones para el uso del diseño mecánico de la turbina Michell-Banki

Para realizar el diseño mecánico de una turbina Michell-Banki, se requiere seleccionar el material que resista mejor las condiciones de operación de la turbina, principalmente su resistencia a la abrasión y corrosión teniendo también en cuenta la producción o comercialización nacional o regional.

En la tabla No. 1 se presentan algunos materiales recomendables para turbinas hidráulicas, los cuales pueden ser de utilidad principalmente para la fabricación y producción del álabe directriz del inyector. En el caso del rodete y las



Rodete de Turbina Michell-Banki

TABLA No. 1

*Composición de las aleaciones usadas corrientemente en turbinas hidráulicas*

MATERIAL	C o/o	Mn o/o	Si o/o	Cr o/o	Ni o/o
Acero al 13 <sup>o</sup> /o Cr	0.10	0.5	0.4	12.5	0.9
Acero al 18 <sup>o</sup> /o Cr, 8 <sup>o</sup> /o Ni	0.07	0.5	1.0	18.0	9.0
Acero al 2 <sup>o</sup> /o Ni	0.24	0.7	0.3	0.2	0.2
Acero al 1.5 <sup>o</sup> /o Mn	0.24	1.6	0.3	0.2	0.4
Bronce al aluminio	Al 10.0	Fe 8.0	Mn 5.0	Ni 2.0	Cu remain- der.

*Propiedades mecánicas de las aleaciones usadas en turbinas hidráulicas*

MATERIAL	Esfuerzo de Fluen- cias.	Esfuerzo de ten- sión	Mínima Elonga- ción L=5 d	Mínima Resisten- cia de im- pacto	Dureza Brinell	Límite de fati- ga.
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	o/o	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>
Acero al 13 <sup>o</sup> /o Cr	45	65-75	15	4	190-30	30
Acero al 18 <sup>o</sup> /o Cr, 8 <sup>o</sup> /o Ni	15	40-50	30	18	130-170	13
Acero al 2 <sup>o</sup> /o Ni	35	55-65	18	6	155-195	22
Acero al 1.5 <sup>o</sup> /o Mn	34	50-60	22	6	140-180	18
Bronce al aluminio	30	60-70	7	1	190-230	15

paredes del inyector es posible utilizar aceros inoxidable que se comercializan en planchas con distintos espesores, pudiéndose sugerir el AISI 316.

Para la selección del material de la carcasa se sugiere el uso de una plancha de acero común y corriente, a la cual se le aplicará pintura anticorrosiva, terminada la fabricación.

En el proceso de selección del material más adecuado para cada una de las piezas que forman la turbina, también se requiere un análisis de efectos corrosivos que se puedan

presentar al estar en contacto dos materiales diferentes en presencia de agua.

Seleccionados los materiales se puede proceder a realizar los cálculos mecánicos. A continuación se dan a conocer algunos criterios de diseño:

- a. Para el diseño mecánico del rodete se sugiere considerar el álabe como una viga empotrada en sus extremos (efecto de soldadura) cargada uniformemente por acción de la fuerza del chorro de agua en el caso más desfavorable,

el cual ocurre cuando por algún motivo el rodete es frenado cuando la turbina estaba trabajando a plena carga.

- b. Para el diseño del disco sólo se requiere determinar un espesor adecuado para que no se deforme cuando se procede a soldar los álabes al mismo.
- c. Para el diseño del eje de accionamiento del inyector, es necesario considerar el caso más desfavorable, presentando cuando trabaja con plena apertura, predominando el efecto del momento torsor.
- d. En el diseño del eje de la turbina se debe considerar el efecto de la velocidad, la cual se sugiere no debe presentarse antes de que la turbina llegue a su velocidad de embalamiento, lo que se puede considerar como el doble de la velocidad nominal N.

$$N = \frac{39.85 \sqrt{H}}{D_e}$$

- e. El diseño de la carcasa debe hacerse considerándola como la estructura de la turbina y debe contemplar la trayectoria de salida del agua del rodete.
- f. La descarga de la turbina debe poseer una dimensión tal, que permita la libre circulación del agua que sale de la turbina.

#### 4. Estandarización de turbina Michell-Banki

Cuando se diseña una turbina, se recomienda que la demanda máxima de la central se presente a 90% de la capacidad máxima de la turbina. Asimismo en el diseño mecánico se considera fundamentalmente la potencia y el salto máximo de operación. Como es conocido la potencia de una turbina está dada por:

$$P_t = 9.807 Q H \eta_T$$

En donde la potencia  $P_t$  está expresada en kW, el caudal Q en  $m^3/seg$  y el salto H en m, siendo  $\eta_T$  la eficiencia de la turbina.

Es conocido que la turbina diseñada bajo esas condiciones, puede trabajar con saltos inferiores generando otras potencias con otros caudales. Esta situación se representa por su número específico de revoluciones, expresado en

caudal Nq o potencia Ns, en donde:

$$Nq = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

$$Ns = N \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}}$$

Siendo N la velocidad nominal de giro óptimo de la turbina en RPM, Q es el caudal en  $m^3/seg$ , H el salto en m y P la potencia en C.V.

Por consiguiente si la misma turbina opera con cargas parciales suponiendo un límite inferior de 70% de su capacidad máxima cuando la demanda de la central es máxima, tendremos un área de combinaciones de salto y caudal en que se podrá operar sin sufrir ninguna modificación geométrica y mecánica. Teniendo en cuenta este principio se puede diseñar una serie estandarizada de turbinas que se complementen y cubran toda una zona de combinaciones de saltos y caudales.

En el caso de la turbina Michell-Banki la estandarización se basa en fijar como salto máximo una altura de 100 metros de caída, estableciéndose diámetros estándar, cuyos perfiles para cada uno están definidos según las fórmulas mostradas en el punto 2, del presente artículo. La estandarización se reduce entonces a determinar anchos estándar de inyectores y rodetes.

El diseño mecánico de las turbinas es un factor importante en la estandarización de las mismas, porque de él dependen los límites de utilización de cada diámetro de rodete. Entre los elementos que limitan la utilización de las turbinas Michell-Banki se pueden mencionar: los álabes del rodete, el álabe directriz del inyector y el eje de la turbina cuando éste atraviesa el interior del rodete.

Esta última limitación se puede contrarrestar haciendo un ensamble mecánico de tal forma que el eje no atraviese el rodete.

Con fines ilustrativos a continuación se describe una metodología para definir una serie estandarizada de turbinas Michell-Banki:

- El eje de accionamiento del álabe directriz es el elemento que determinará la estandarización de inyectores o to-

beras, debido a que por razones mecánicas y geométricas existe un límite máximo de estos diámetros, que dependen del diámetro exterior del rodete, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Diámetro de Rodete (mm)	Diámetro máximo del eje del álabe directriz (mm)
200	19
300	29
400	38
500	48
600	58

— Conociendo estos valores y fijándonos un límite de salto máximo de 100 metros para utilizar la turbina Michell-Banki, podemos encontrar el caudal y ancho máximo del inyector según un diámetro de rodete dado. Para ello será necesario hacer uso de la fórmula reducida para determinar el momento torsor máximo a que está sometido el eje del álabe directriz la cual se expresa de la siguiente forma:

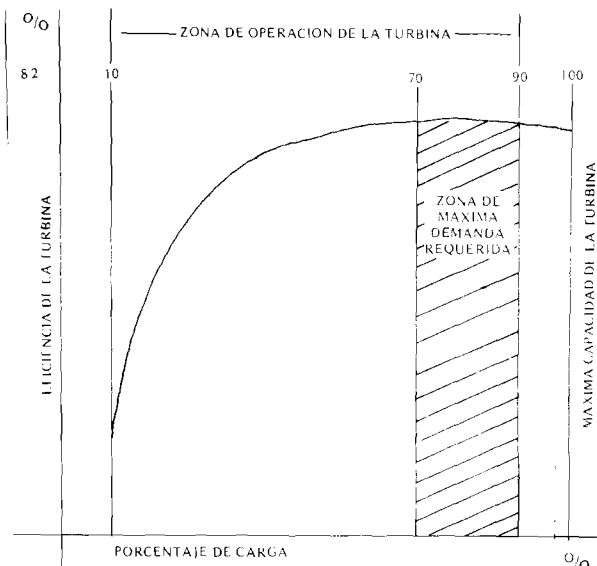
$$M_{T \text{ máx}} = 31 D_e Q \sqrt{H}$$

En donde:  $M_{T \text{ máx}}$  es el momento torsor en Kgr- m  
 $D_e$  es el diámetro exterior del rodete en m  
 $Q$  es el caudal máximo de la turbina en  $m^3/\text{seg}$   
 $H$  es el salto neto en m

Seleccionando como material del eje, acero inoxidable, encontramos para cada diámetro exterior de rodete, el límite del ancho del inyector y el caudal máximo que puede fluir por él. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

De mm	H m	Q $m^3/\text{seg}$	B máx mm	kW máx kW
200	100	0.140	65	86
300	100	0.500	150	308
400	100	1.100	240	679
500	100	2.200	380	1 359
600	100	4.000	570	2 471

— Con estos datos y considerando que la máxima demanda de la central se presentará cuando la turbina esté operando entre el 70% y 90% de su carga máxima podemos establecer una serie de áreas de utilización de turbinas estándar diseñadas con un salto máximo de 100 metros. De esta forma, si tomamos como estándar un rodete de 200 mm de diámetro exterior, el inyector de máxima dimensión que se puede utilizar tiene un ancho de 65 mm y puede ser utilizado hasta cuando la demanda máxima de la central se presenta a un 70% de la capacidad máxima de la turbina. El ancho del inyector que le sigue por consiguiente tendrá una dimensión equivalente al 70% del anterior y así sucesivamente.



Curva de eficiencia de la Turbina Michell-Banki

— Con este criterio y tratando de complementar áreas de operación de las turbinas estándar, se han determinado diámetros de rodetes estándar de 200 mm, de 400 mm

seleccionamos la turbina  $T_{10}$ , la cual posee un inyector de dos compartimentos, uno de 240 mm y el otro de 120 mm y un rodete de 400 mm de diámetro exterior con un ancho

*Dimensiones principales de turbinas Michell-Banki estandarizadas*

No.	Diámetro de Rodete	Ancho del Inyector		Ancho del Rodete	
	STD (mm)	B	STD (mm)	Br	STD (mm)
$T_1$	200		30		40
$T_2$	200		45		60
$T_3$	200		65		85
$T_4$	200		*60 - 30		160
$T_5$	400		60		80
$T_6$	400		85		110
$T_7$	400		120		160
$T_8$	400		*120 - 60		305
$T_9$	400		240		315
$T_{10}$	400		*240 - 120		610
$T_{11}$	600		270		350
$T_{12}$	600		390		500
$T_{13}$	600		560		700
$T_{14}$	600		*560 - 270		1200

\* NOTA: En estos casos se hace uso de inyectores de dos compartimentos con los anchos indicados.

y de 600 mm, a los cuales corresponden anchos de inyector estándar, tal como se muestra en la tabla anterior.

*5. Selección de turbinas estandarizadas*

Establecidas las series estandarizadas de turbinas Michell-Banki, el proceso de selección de una determinada turbina se limitará a hacer uso de un gráfico H-Q que se muestra, en donde se pueden apreciar las áreas correspondientes a cada turbina estándar mostrada en la tabla final del punto anterior. Asimismo con el mismo gráfico se puede determinar el número de revoluciones óptimas de cada turbina según el salto con que opere.

Por ejemplo si disponemos de un salto de 60 metros con una demanda de 400 kW, hacemos uso del gráfico H-Q y

de 610 mm, debiendo girar aproximadamente a 760 RPM con un caudal de 1 100 l/s.

*6. Producción de Turbinas Michell-Banki estandarizadas*

La estandarización de turbinas Michell-Banki nos ha permitido determinar que existen piezas cuya geometría es similar en un grupo de turbinas estándar. Por ejemplo cuando tenemos rodetes de turbinas de un mismo diámetro, sus discos son similares, al igual que la curvatura del álabe, y en el caso de los inyectores sucede lo mismo. Esto nos permite deducir que la producción de turbinas estandarizadas se debe orientar a la fabricación de piezas estándar que componen los elementos de la turbina, con el objeto de mantener un número determinado de cada pieza, las cuales

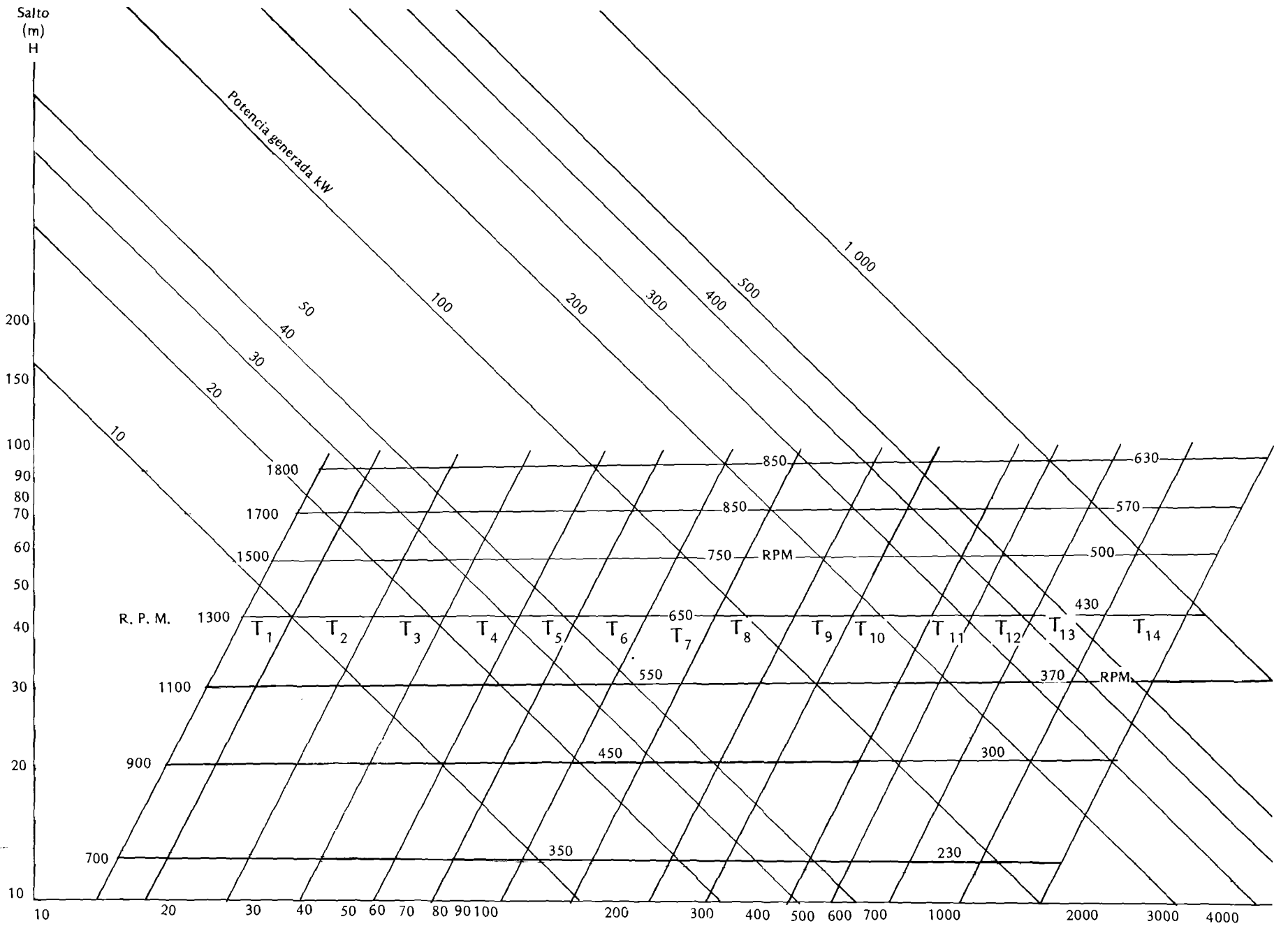


Gráfico para seleccionar Turbinas Michell-Banki estandarizadas

Caudal (l/s) Q .

pueden ser utilizadas en el ensamblaje de una turbina estándar de acuerdo a un pedido específico de la misma.

Finalmente a continuación hacemos un breve listado de las piezas estándar que componen los elementos de la turbina, así tenemos el álabe directriz, el eje y las paredes laterales del inyector, el disco, cubo y álabes del rodete, ejes y soportes de rodamiento de la turbina, cáscara, bridas, etcétera.

*Dimensiones principales del inyector para la turbina Michell-Banki según el diámetro del rodete*

DIMENSION	DIAMETRO DEL RODETE De (mm)			
	LITERAL	200	400	600
a <sub>1</sub>		92.5	185.0	277.5
a <sub>2</sub>		101.0	202.0	303.0
a <sub>3</sub>		100.0	200.0	300.0
b <sub>1</sub>		57.0	114.0	171.0
b <sub>2</sub>		83.0	166.0	249.0
b <sub>3</sub>		46.0	92.0	138.0
b <sub>4</sub>		68.0	136.0	204.0
b <sub>5</sub>		40.0	80.0	120.0
b <sub>6</sub>		20.5	41.0	61.5
b <sub>7</sub>		26.0	52.0	78.0
b <sub>8</sub>		20.0	40.0	60.0
c <sub>1</sub>		17.5	35.0	52.5
e <sub>1</sub>		50.5	101.0	151.5
e <sub>2</sub>		39.5	79.0	118.5
e <sub>3</sub>		65.5	131.0	196.5
e <sub>4</sub>		54.0	108.0	162.0
e <sub>5</sub>		57.0	114.0	171.0
e <sub>6</sub>		16.0	32.0	48.0
e <sub>7</sub>		126.0	252.0	378.0
e <sub>8</sub>		115.0	230.0	345.0

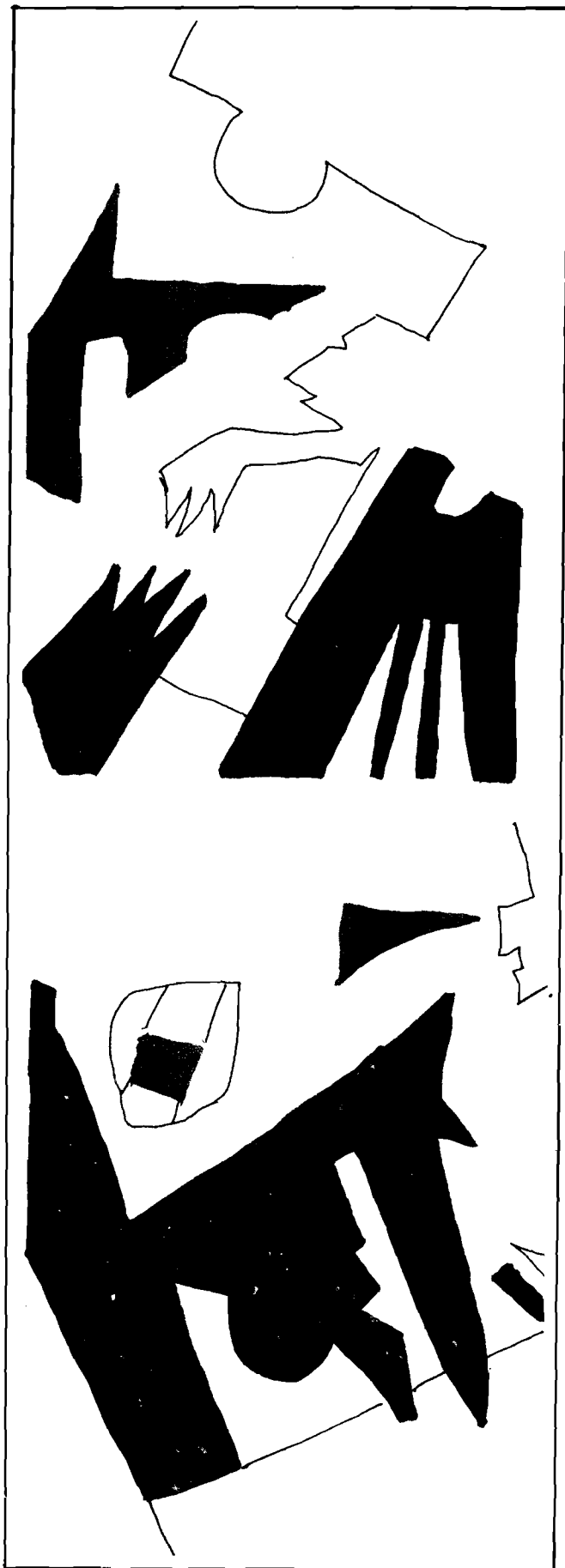
Valores de los ángulos

$$\alpha_1 = 58^\circ; \quad \alpha_2 = 47^\circ 5'; \quad \alpha_3 = 67^\circ;$$

$$\beta_1 = 60^\circ; \quad \beta_2 = 18^\circ; \quad \beta_3 = 32^\circ; \quad \beta_4 = 35^\circ;$$

$$\beta_5 = 31^\circ; \quad \beta_6 = 70^\circ; \quad \beta_7 = 62^\circ;$$

$$\gamma_1 = 66^\circ.$$



# HIDROLOGIA PARA PROYECTOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS EN AUSENCIA DE DATOS

Ing. Luis Eduardo Machado Hernández  
Experto del Programa Regional de PCH/OLADE  
Quito, septiembre de 1980

El régimen hidrológico es una función compleja de numerosos factores entre los que predominan el clima y la configuración del territorio en el cual se desarrolla el fenómeno. Las formas de la superficie terrestre y en particular su situación en altitud tienen influencia decisiva sobre los más importantes factores condicionantes del régimen hidrológico, como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de aluviones y sedimentos. Los índices morfométricos son fundamentales para documentar la analogía territorial y establecer relaciones hidrológicas de generalización territorial.

Los índices morfométricos expresan en términos de simples valores medios las características de paisajes complejos. Por esta razón se recomienda mucha cautela al incluir en un mismo índice paisajes de naturaleza diferente, como montañas y llanuras, porque el valor resultante podría tener poco sentido.

Las relaciones de generalización son expresiones características o gráficas de las leyes de variación territorial de los valores hidrológicos. Con base en tales relaciones de generalización se puede determinar el orden de magnitud del valor hidrológico que interesa, en puntos o secciones en donde faltan parcial o totalmente los datos hidrométricos directos, conociendo solamente los valores de las características morfométricas y fisiográficas y teniendo una información general sobre el conjunto natural de la región.

Para fundamentar las relaciones de generalización o analogías hidrológicas en ausencia de datos son muy importantes las actividades hidrológicas expedicionales como único apoyo experimental a las metodologías que existen para tratar la información u obtenerla.

Se pueden presentar los casos siguientes:

## 2.1 Existencia de estaciones de aforo en la cuenca

En este caso es posible, por lo general, un traslado de caudales de la estación al sitio de interés.

Se comienza por un análisis de consistencia de datos para proceder en seguida a una complementación de series.

Posteriormente se realiza un cálculo de precipitación media sobre la cuenca y sobre las subcuencas.

Después se verifica una generación de caudales en las subcuencas de interés.

Por otra parte para la determinación de los caudales mínimos se construyen curvas de flujo-duración.

Con el fin de calcular los caudales máximos de creciente se utilizan los métodos de hidrógrafos unitarios y de precipitación máxima probable.

## 2.2 Ausencia de estaciones de aforo, existencia de estaciones pluviométricas (ausencia de registros caudales)

También se comienza por un análisis de consistencia de datos así como por una complementación de series pluviométricas. De igual manera como se procedió en el caso anterior, se calcula la precipitación media sobre la cuenca y subcuencas de interés.

En seguida se verifica el balance hídrico con el fin de estimar la escorrentía media interanual.

Para la determinación de los caudales mínimos se elaboran curvas lluvia-duración con el fin de utilizarlas de una manera analógica y poder así estimar la tendencia de la curva de flujo-duración y una aproximación a la misma.

Luego se procede a una generación de caudales en las subcuencas utilizando la ecuación de regresión de lluvia-escorrentía de las estaciones de base.

Para los caudales de avenida se pueden utilizar los métodos de hidrógrafos unitarios sintéticos.

## 2.3 Ausencia de registros de caudal y ausencia de estaciones pluviométricas

Para esta circunstancia es posible utilizar las relaciones de generalización con variables meteorológicas con el fin de reproducir una estructura de lluvia aproximada.

El balance hídrico permite estimar el orden de magnitud de la escorrentía media interanual.

Con el fin de estimar un orden de magnitud de la escorrentía mínima es posible emplear métodos de índices geomorfológicos relacionados con cuencas similares.

Finalmente para tener una idea del orden de magnitud de los caudales de avenidas es posible utilizar el método de los hidrógrafos unitarios sintéticos.



Especialmente para este tercer caso, es muy importante corroborar este estimativo mediante campañas rápidas de medición en el campo, lo que será materia de discusión en el siguiente aparte.

## IV. ACTIVIDADES HIDROLOGICAS EXPEDICIONALES

### 3.1. Complementación de series de lluvias y de caudales

Se realizan a través de correlaciones simples lluvia-escorrentía para los caudales y del método de la razón normal para las precipitaciones.

### 3.2 Cálculo de la precipitación media sobre la cuenca

Este cálculo se realiza con base en los métodos clásicos de los polígonos de Thiessen o de las isoyetas.

### 3.3 Generación de caudales en las subcuencas

Se obtiene con base en los registros pluviométricos de las estaciones más cercanas y en las correlaciones lluvia-escorrentía, utilizando la ecuación de regresión de las estaciones de base.

### 3.4 Balance hídrico

Donde la lluvia sobrepase de una forma apreciable a la evapotranspiración es posible aplicar este método con el fin de obtener un orden de magnitud del caudal medio multianual.

### 3.5 Hidrógrafos unitarios sintéticos

La utilización de esta metodología implica la investigación de coeficientes empíricos aplicables a determinados tipos de cuencas según sus características geológicas y geomorfológicas.

### 3.6 Determinación de caudales mínimos por estudio geomorfológico o de factores de escurrimiento

La extrapolación de datos en el espacio debe basarse en el conocimiento de las características geomorfológicas de las cuencas. Este conocimiento se logra a través de la elaboración de mapas que se superponen, para las siguientes variables: pendiente, litología y vegetación.

Esto permite conocer un orden de magnitud de los caudales a través de los siguientes índices: capacidad de absorción teórica, índice de escurrimiento e índice de aptitud para sostener estiajes.

## IV. ACTIVIDADES HIDROLOGICAS EXPEDICIONALES

La medición de la variación en tiempo y espacio de las prin-

cipales características del régimen hidrológico se basa en el sistema de puntos fijos de investigación, denominados en la práctica estaciones hidrométricas. Pero, debido a dificultades naturales o de organización, este sistema no se puede aplicar a todas las regiones.

En el caso de que el sistema estacionario no logre suministrar toda la información hidrométrica necesaria o, simplemente, no se pueda aplicar, se trata de determinar las características hidrológicas a través de observaciones y mediciones que se realizan en campañas de cierta duración, denominadas actividades hidrológicas expedicionales.

### 4.1 Determinación de caudales máximos y características de avenidas

En la mayoría de las situaciones concretas se trata de determinar la escorrentía máxima en función de informaciones que se refieren a niveles máximos históricos y a las mayores avenidas e inundaciones conocidas en la región, lo que supone la ausencia total o casi total de huellas evidentes de aguas máximas en los cauces de las corrientes.

De esta manera las informaciones que se obtienen en el terreno adquieren importancia decisiva. Estas informaciones se pueden clasificar en dos categorías:

1. Informaciones suministradas por los ribereños
2. Análisis microfisiográficos en los cauces mayores de las corrientes y sobre sus orillas.

Las informaciones que se solicitan a los ribereños se deben referir, por lo menos a los siguientes elementos:

1. Nivel máximo de la mayor avenida que se conoce
2. El año y eventualmente la fecha en que se haya producido la avenida
3. El tiempo transcurrido entre el comienzo de la subida de las aguas y el momento en que se haya alcanzado el nivel máximo.
4. El tiempo que han tardado las aguas en bajar hasta niveles normales.
5. Eventuales influencias artificiales sobre el régimen de escorrentía máxima.

Los análisis microfisiográficos en los cauces mayores de las corrientes y sobre sus orillas contemplan la posibilidad de encontrar ciertos índices relativos a los ni-

veles de aguas máximas. Estos análisis se deben referir, por lo menos a los elementos siguientes:

1. Aspecto geomorfológico.
2. Material aluvial y suelos.
3. Vegetación y material orgánico vegetal.

Una vez terminadas las labores de campo y de laboratorio (análisis de muestras), durante las labores de oficina, se pueden determinar los siguientes elementos:

1. Caudales máximos de probabilidad homogénea.
2. Principales características de avenidas.
3. Eventualmente, tiempos de propagación de ondas.

#### 4.2 *Determinación de caudales mínimos de duración de estiajes. Las actividades que se desarrollan en el terreno son de tres categorías:*

1. Recolección de informaciones de los ribereños.
2. Trabajos hidrológicos y topográficos en el cauce de la corriente.
3. Observaciones sobre la litología de la región.

Las informaciones que pueden proporcionar los vecinos de la zona se refieren a los siguientes aspectos:

1. Eventual interrupción de la escorrentía.
2. Niveles mínimos históricos.
3. Año y mes en que la escorrentía se ha interrumpido o se ha producido el nivel mínimo.
4. Periodos de estiaje y duración de éstos.
5. Eventuales influencias artificiales sobre el régimen de escorrentía mínima.

#### 4.3 *Determinación de las principales características del régimen hidrológico de las corrientes*

En la práctica, es muy frecuente el caso de que en ciertas partes de las cuencas hidrográficas (generalmente las zonas escasamente pobladas de las cabeceras de corrientes) no se disponga de ningún dato hidrométrico. Sin embargo las necesidades económicas imponen el conocimiento hidrológico de tales áreas, en vista de la proyección de obras hidrotécnicas y aprovechamientos de agua.

En tales situaciones se deben desarrollar ampliamente

actividades hidrológicas excepcionales. La organización de éstas se basa esencialmente en los siguientes principios:

1. Ejecución de mediciones hidrológicas simultáneas en varias secciones
2. Periodicidad de campañas, de acuerdo con las fases del régimen hidrológico
3. Instalación de aparatos registradores de funcionamiento autónomo de larga duración.
4. Observaciones generales sobre las características del régimen hidrológico.

Las mediciones se pueden referir a la mayoría de las características hidrológicas y se deben realizar en varias secciones representativas de las cuencas estudiadas, así como en estaciones hidrométricas que se encuentran en las cercanías, en zonas que se consideran de régimen similar.

## V. CONCLUSIONES

Cuando faltan los datos, la fundamentación para la obtención de la información reside en el procedimiento de analogías hidrológicas. Para que estas analogías conduzcan a datos que reflejen la realidad, es indispensable un conocimiento suficiente del medio físico. En este sentido se puede afirmar que el porvenir de la hidrología está en la investigación experimental. De ahí la necesidad, a largo plazo de realizar programas de cuencas representativas y experimentales. Si se considera el corto plazo, las actividades hidrológicas expedicionales brindan el único apoyo posible a los procedimientos de analogías hidrológicas.

## BIBLIOGRAFIA

- Notas técnicas sobre características morfométricas y fisiográficas de cuencas hidrográficas y determinación de parámetros hidrológicos. Wulf Klohn y Silviu Stanescu. Publicación periódica No. 12 HIMAT-Bogotá, Colombia.
- Obtención de información hidrológica por métodos especiales. Wulf Klohn y Silviu Stanescu. Publicación periódica No. 24 HIMAT-Bogotá, Colombia.
- Apuntes de clase para el curso de hidrología práctica (I parte) Silviu Stanescu. Publicación periódica No. 24 HIMAT-Bogotá, Colombia.
- Estudio hidrológico preliminar de la cuenca hidrológica del Cauca Superior. Silviu Stanescu y Guillermo Rodríguez. Publicación periódica No. 27 HIMAT-Bogotá, Colombia.
- Les facteurs de l'écoulement dans le bassin de l'Allier' Thèse Jean Christian Scherer. Strasbourg 1973.

# REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTRICO ELECTRONICO DE TURBINAS HIDRAULICAS PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

Ing. Luis Antonio Suárez Figueroa

## 1. Problemática del desarrollo de Reguladores de Velocidad

La regulación de velocidad de turbinas hidráulicas representa uno de los problemas esenciales en el desarrollo de P.C.H. El obtener un sistema óptimo de regulación para lograr un equipo seguro y de bajo costo, constituye el principal objetivo de los investigadores. Asimismo dicho sistema de regulación debe abarcar los rangos que se estipulan en el programa de P.C.H. de la región:

- Microcentrales Hidroeléctricas
- Minicentrales Hidroeléctricas
- Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

De aquí se desprende que los sistemas de regulación deben abarcar rangos determinados para su aplicación, lo que equivale a discernir acerca de la estandarización de los mismos.

La controversia del análisis y definición del tipo de central conlleva a que algunos investigadores se inclinen a señalar que los sistemas de regulación de velocidad no son compatibles con las microcentrales debido a que su costo es elevado en comparación al costo de turbina.

Algunos, justifican la regulación manual para las microcentrales hidráulicas, o si no la regulación a través del balanceo de carga (con resistencias). La primera opción determina reducidas inversiones pero es poco confiable, y tiene mayores costos de operación. La segunda solución significa derroche de energía en muchos casos necesaria y no permite la utilización racional del agua, donde sea necesario usarla para otros fines.

Con el fin de encontrar una solución óptima se realizó el estudio de un conjunto de sistemas de regulación, habiéndose encontrado que los reguladores oleo-mecánicos, electro-mecánicos, mecánicos e hidráulicos con mando electrónico, resultaban poco adecuados para P.C.H. por la complejidad de sus componentes, lo que eleva el costo de fabricación.

Los problemas que presentan los reguladores conocidos sirvieron de base para desarrollar un sistema que reúne las características requeridas para los reguladores de velocidad en P.C.H. y que son:

- a) Bajo costo
- b) Confiabilidad

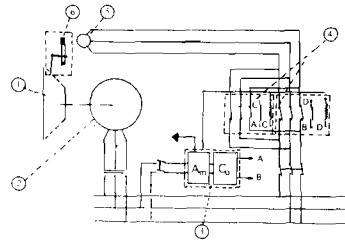
## c) Sencillez de operación y mantenimiento

Dicho sistema, es el Regulador de Velocidad Eléctrico-electrónico. En el desarrollo del sistema de regulación que se presenta como alternativa, participó el Ing. Moisés Gutiérrez Chávez. (Perú).

## 2. El Regulador de Velocidad Eléctrico electrónico

### 2.1. Circuito Esquemático

Los cálculos de diseño, complementados con los ensayos a nivel de laboratorio y planta piloto permitieron un primer sistema de regulación.



1. Turbina
2. Generador
3. Sensor de Frecuencia
4. Contacto de los relays
5. Servomotor
6. Reductor acoplado a la válvula de regulación del caudal.

### 2.2 Funcionamiento

El sensor de frecuencia (3) capta la señal de la línea (en los bornes del generador (2)), la señal es traducida a tensión y amplificada a través de elementos integrados para ser comparada con la señal patrón que se toma de la red con la ayuda de una fuente de alimentación. Si la turbina (1) gira a velocidad normal (correspondiente a una frecuencia de  $60H_z$ ) la tensión en la salida del comparador es igual a 0 voltios. Si se aumenta la carga, la velocidad disminuye ( $58H_z$ ) entonces la señal en el comparador es negativa, se da el mando para que actúe el relé de apertura de válvula de regulación de caudal. Si se quita carga la velocidad aumenta, ( $62H_z$ ), entonces la señal en el comparador se vuelve positiva y activa el relé de cierre de válvula de regulación

de caudal. En ambos casos, actúa el servomotor (5) y acciona el reductor (6) cerrando o abriendo la válvula de regulación de caudal.

Importante señalar: el servomotor actúa cuando la señal es igual a  $58H_z$  ó  $62H_z$ , se detiene cuando la frecuencia es un poco mayor a  $58H_z$  y cuando es un poco menor a  $62H_z$ , según el caso requerido.

### 2.3 Análisis de estabilidad

Para el análisis de estabilidad se logró simplificar la ecuación característica del sistema y reducirla a una de segundo orden debido a que:

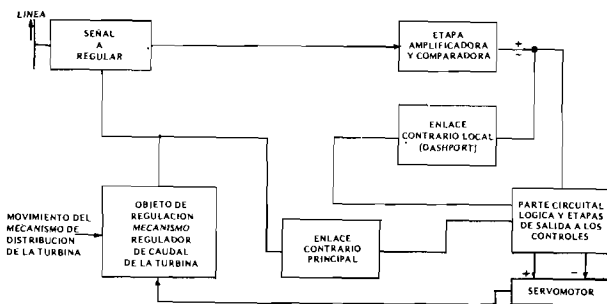


Diagrama funcional del regulador de velocidad electrónico

a) El sistema sensor electrónico tiene un tiempo de inercia casi igual a cero, asimismo el tiempo de inercia del servomotor es mínimo.

b) La franja de insensibilidad es de  $4H_z$  ( $58H_z$  a  $62H_z$ ) lo que permite una variación de velocidad aproximadamente del 20% con una variación de frecuencia de  $\pm 30\%$

c) La ecuación característica se simplifica debido a que incluimos la variación de los fenómenos de golpe de ariete (positivo y negativo) manteniendo una magnitud constante del tiempo de cierre, que es menor al tiempo de cierre requerido para el caso de embalamiento de la turbina. Se tiene en cuenta además que el máximo valor de sobrepresión en la tubería, es no mayor al 30% en el caso de golpe de ariete positivo y no más del 20% en el caso de golpe de ariete negativo.

d) El mínimo número de oscilaciones es igual a uno y el máximo número de oscilaciones en caso de cambio brusco de carga, es igual a dos.

De la ecuación característica obtenemos la ecuación de transferencia:

$$D(s) = \frac{K}{1 + 2\alpha T s + T^2 s^2} = \frac{K}{1 + \frac{2\alpha}{W} s + \frac{s^2}{W^2}}$$

donde:

$K$  = coeficiente de amplificación o ganancia

$W = \frac{1}{T}$  2 frecuencia angular de oscilaciones libres;

$\alpha$  = coeficiente de apagamiento del proceso transitorio (decremento)

$S$  = Operador de Laplace

Luego del paso a la función transitoria obtenemos:

$$x(t) = K \left[ 1 - e^{-\gamma t} \left( \cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \operatorname{sen} \lambda t \right) \right]$$

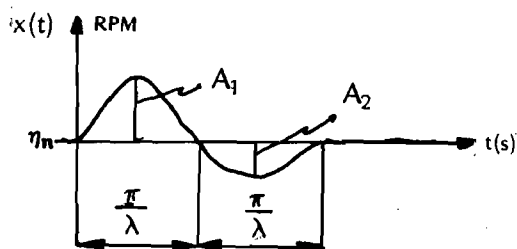
donde:

$$\gamma = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$$

donde:

$$\lambda = W \sqrt{1 - \alpha^2}$$

$\gamma$  = coeficiente que relaciona  $\alpha$  con  $W$  y limita el periodo de la onda.



Variación de velocidad (cambio brusco de carga)

El análisis de estabilidad se realizó para el caso de variación brusca de carga (se quitó el 60% de la carga), en el caso de aumento de carga, (se aumentó el 60% de la carga), la curva del proceso transitorio se invierte.

### 3. Ventajas y desventajas del sistema

#### 3.1 Ventajas del sistema

- 3.1.1 Bajo costo y sencillez de operación y mantenimiento.
- 3.1.2 Seguridad en el accionar.
- 3.1.3 Tiene bloqueo mecánico en los relays que permiten el accionamiento de ambos al mismo tiempo.

#### 3.2 Desventajas del sistema

- 3.2.1 El circuito electrónico y eléctrico está sometido a sobretensiones puesto que va conectado a la red de salida del generador.
- 3.2.2 Ante la probabilidad de corto circuito ( $V=0$ ) o falla de la transmisión ( $V=0$ ) el sistema de regulación se queda sin alimentación.
- 3.2.3 No cuenta con el sistema de seguridad contra el embalamiento de la turbina.
- 3.2.4 Necesita de reductor de velocidad entre el servo motor y la válvula de regulación de caudal.

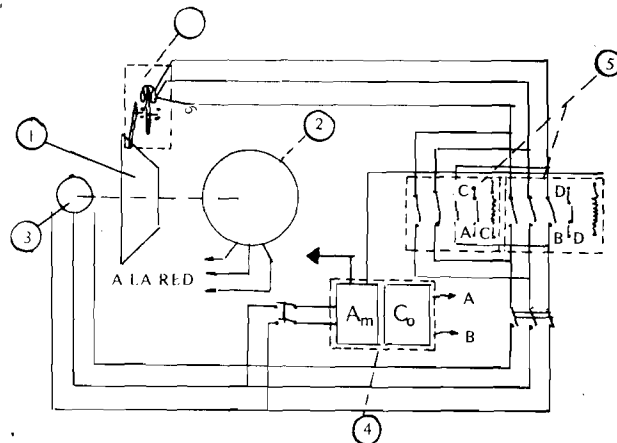
#### 3.3 Balance de ventajas y desventajas

3.3.1 Las principales desventajas del sistema orientaron el desarrollo de un sistema para el Regulador de Velocidad Eléctrico-electrónico y que comprende las siguientes variaciones dentro del circuito anterior:

- a) Un microsistema de generación: como la potencia necesaria para la regulación es pequeña, entonces se optó por un generador asíncrono que entrega la potencia requerida para la regulación.
- b) Para obviar el reductor entre el servomotor y la válvula de regulación se utiliza un motor lineal (motor plano) con el cual se obtienen velocidades lineales necesarias para la regulación.

### 3.4 Circuito Modificado

En las variaciones propuestas obtenemos el siguiente circuito modificado:



- 1. Turbina
- 2. Generador
- 3. Generador micro sistema
- 4. Sensor de frecuencia
- 5. Contactos de relays
- 6. Servomotor lineal (Motor plano).

#### 3.4.1 Ventajas del nuevo sistema

- 3.4.1.1 El sistema de regulación no está sometido a la tensión de la red, que en el rango de P.C.H. llega a 10 KV, descartando el peligro de que la sobretensión lo deje fuera de servicio.
- 3.4.1.2 El peligro de embalamiento de la turbina es mínimo.
- 3.4.1.3 El sistema es adecuado para la estandarización. Este tema será tratado en un trabajo posterior.

### 4. Lineamientos generales para el diseño y construcción de un Regulador de Velocidad Eléctrico-electrónico

#### 4.1 Desarrollo del modelo matemático del sistema

- 4.1.1 Se obtiene el modelo matemático del sistema de la P.C.H. tomando en cuenta el embalse, tubería de presión, turbina, generador, regulador y se detalla el diagrama de bloques.

a) Para tener en cuenta los parámetros de la tubería en función al tiempo de cierre de la válvula reguladora de velocidad realizamos el análisis del golpe de ariete.

I) Se halla la velocidad de onda de presión:

$$a = \frac{c}{1 + \frac{E}{E^1} \frac{d_i}{e}}$$

c = Velocidad de propagación del sonido en el agua  
1420 m/s a 15°C

E<sup>1</sup> = Módulo de elasticidad a la tensión del material de la tubería en Kg/m<sup>2</sup>

E = Módulo de elasticidad del agua a la compresión  
2x10<sup>8</sup> Kg/m<sup>2</sup>

d<sub>i</sub> = Diámetro interior de la tubería en cm

e = espesor de la pared de la tubería en cm.

E<sup>1</sup> = 1.2x10<sup>8</sup> Kg/m<sup>2</sup> Para tubería de polietileno

E<sup>1</sup> = 2.25x10<sup>8</sup> Kg/m<sup>2</sup> Para tubería de P.V.C.

E<sup>1</sup> = 210x10<sup>8</sup> Kg/m<sup>2</sup> Para tubería de fierro

II) Se halla la sobrepresión

$$h = \frac{a v}{g} \quad \text{Si } K < 1 \text{ y } N < 1$$

$$h = \frac{a v}{g N + K (N - 1)} \quad \text{Si } K < 1 \text{ y } N > 1$$

$$h = \frac{a v}{g (2N - K)} \quad \text{Si } \bar{K} > 1 \text{ y } N > 1$$

donde:

$$K = \frac{a v}{a g H} \quad ; \quad N = \frac{a T_c}{2 L}$$

donde:

H = Salto en metros (m)

L = Longitud de la tubería en metros (m)

V = Velocidad del agua en la tubería forzada (m/s)

T<sub>c</sub> = Tiempo de cierre del control de caudal (Se determinó en el punto 4.1.2.)

Para la caída de presión en caso de golpe de ariete negativo utilizamos la siguiente fórmula:

$$h = \frac{a v}{g} \frac{(-K + K^2 + N^2)}{N^2}$$

$$\text{Si: } T_c = 2.L/a$$

4.1.2 Para tener en cuenta la sobrevelocidad se encuentra el grado de irregularidad (s) que está comprendido entre 1°/o y 6°/o y el grado de insensibilidad (e) que está comprendido entre 0.3°/o y 0.5°/o; luego hallamos la sobrevelocidad no mayor al 25°/o

$$N_{\text{máx}} = \frac{N_{\text{máx}} - N_n}{N_n} = \frac{1800 \times 102g}{2} \frac{P_n T_c}{GD^2 N_n^2}$$

P<sub>n</sub> = Potencia Nominal (kW)

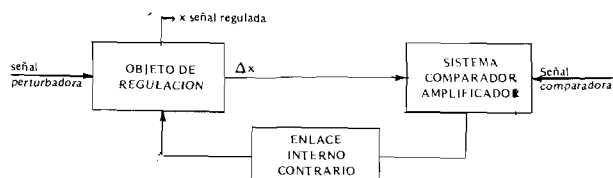
T<sub>c</sub> = Tiempo de cierre (s)

GD<sup>2</sup> = Factor de inercia del grupo (Kgr-m<sup>2</sup>)

N<sub>n</sub> = Velocidad Nominal en R.P.M.

N<sub>máx</sub> = Velocidad máxima que alcanza la turbina en el tiempo que dura la regulación (T<sub>c</sub>)

Con la utilización de estos parámetros obtenemos un modelo matemático simple y se obtiene el siguiente diagrama de bloques:



De donde la ecuación de transferencia

$$D(s) = \frac{K}{1 + T_1 s + T_2^2 s^2}$$

donde  $T_1$  y  $T_2$  tiempo mecánico del servomotor y constante de tiempo electromecánico del sistema.

Si expresamos la ecuación a través del decremento ( $\alpha$ ) y la frecuencia de apagamiento de las oscilaciones libres ( $W$ ), obtenemos:

$$D(s) = \frac{K}{1 + \frac{2\alpha}{W}s + \frac{s^2}{W^2}}$$

Luego se realiza el análisis de estabilidad con cualquiera de los criterios conocidos.

#### 4.2 Diseño funcional matemático del regulador

Luego de obtener el modelo matemático se obtienen los parámetros de diseño del regulador en función del tiempo de cierre y el tiempo en que la turbina alcanza la velocidad de embalamiento.

La magnitud del tiempo requerido fue determinada en el paso 4.1.2.

#### 4.3 Diseño funcional eléctrico y mecánico del Regulador

En esta etapa se definen los tipos de transistores y elementos integrados y comparadores por utilizarse, al igual que las magnitudes físicas de las resistencias y condensadores necesarios para el circuito sensor.

Se hallan los parámetros de selección del servomotor y del generador del microsistema de generación; asimismo se define la forma de transmisión.

#### 4.4 Diseño de detalle

En este paso se dan los cálculos y consideraciones construc-

tivas y de montaje del circuito sensor y consideraciones constructivas del servomecanismo.

El circuito electrónico contará con:

- Un transformador que tome la señal del microsistema con una salida para la alimentación de las bobinas de los relays y una salida para el circuito comparador.
- Una serie de transistores que capten la señal de variación de frecuencia y la amplifiquen en forma de tensión.
- Un conjunto de elementos integradores que capten la señal de tensión y la amplifiquen.
- Un conjunto de transistores que funcionen como inversores para que después de la comparación se entregue la señal a las bobinas de los relays.
- Se seleccionan servomotores que permitan diseñar reductores con una relación de 1-4 como máximo. Se recomienda el uso de engranajes simples porque su costo es bajo.
- Si seleccionamos un servomotor (motor plano) no es necesario el reductor.
- Se diseña el circuito impreso.

#### 4.5 Fabricación

En esta etapa se efectúa el montaje de los componentes electrónicos en el circuito impreso. Se fabrica el reductor con un acero estructural corriente (ST 24).

Se realiza el montaje de acuerdo con la ubicación del regulador en la turbina.

#### 4.6 Pruebas de funcionamiento

Se realizan las pruebas a nivel de laboratorio para verificar el funcionamiento. Asimismo las pruebas a nivel de planta piloto servirán para poner a punto el sistema.

### 5. Conclusiones y recomendaciones

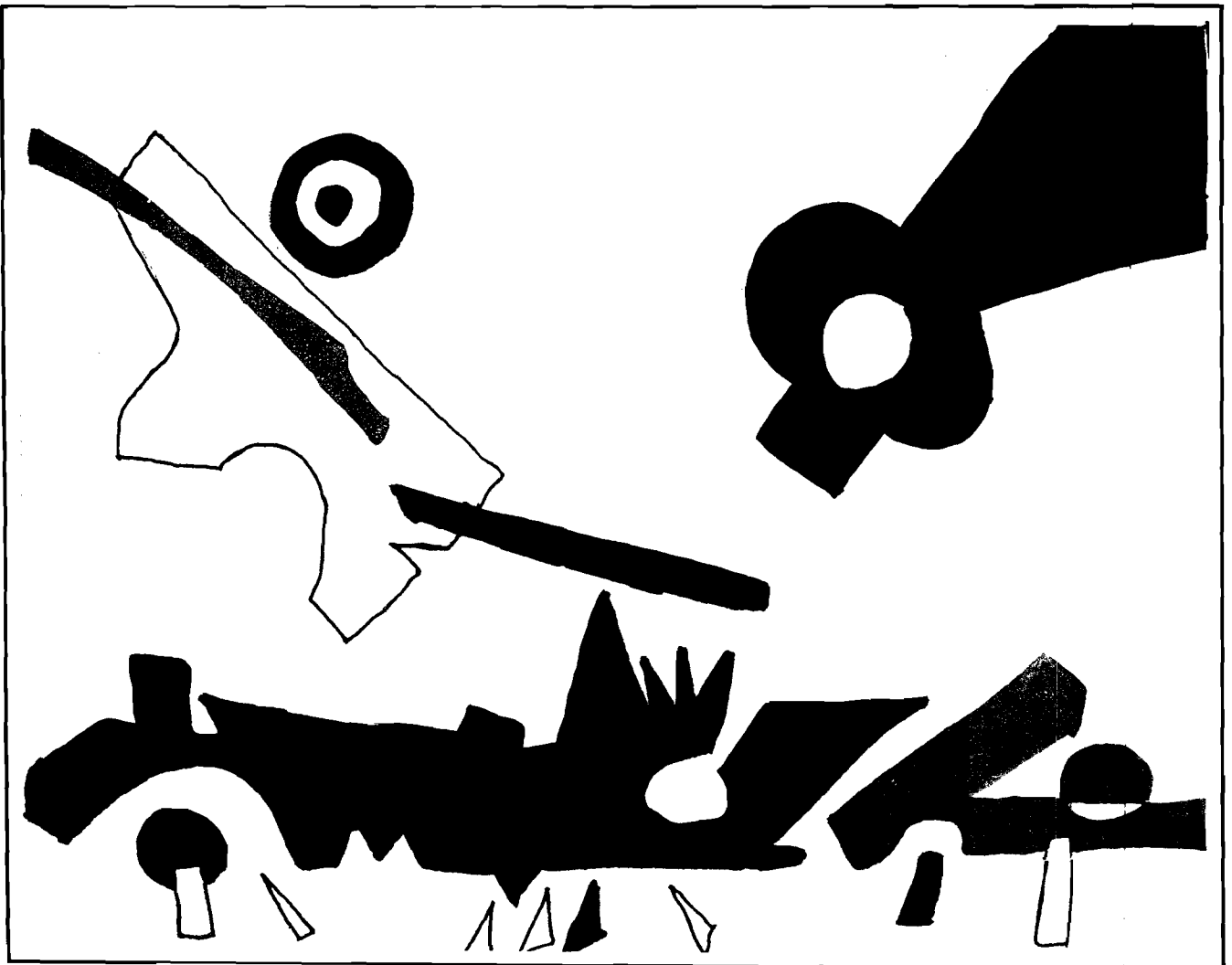
- El regulador de velocidad que se presenta está justificado para su uso con turbinas Michell-Banki y Francis.
- Para el caso de la turbina Pelton su uso se limita para accionar el deflector.
- Se recomienda no regular la velocidad de la turbina Pelton usando la aguja de la tobera en forma aislada

ya que la probabilidad de golpe de ariete aumenta en 50%. Sin embargo si fijamos un punto de cierre de la válvula de regulación de caudal, de tal forma que la turbina no llegue a la velocidad de embalamiento (esto se logra si se aumenta el tiempo de inercia), se podrá efectuar la regulación.

- 5.4 Se recomienda tomar la señal de regulación de la red para las microcentrales hidráulicas y para las minicentrales y pequeñas centrales utilizar un microsistema de generación. (Segunda variante).

## BIBLIOGRAFIA

- Manual del Ingeniero Mecánico de Marks.  
Teoría de los sistemas de regulación Automática. V. A. Biesiekerkii, E. P. Popov.  
Métodos Estáticos de Investigación de Proceso Estacionario y Sistemas de Regulación Automática. Vilenkin, S. Y.  
Síntesis de Sistemas con Relays Optimas para Accionamiento Instantáneo. Pavlov, A. A.  
Linear Systems Theory. Zadeh, L. A., Dosoer, C. A.  
Modern Control Theory. Zon, J. T.





# METODOLOGIA SINTETICA PARA EL CALCULO Y ESPECIFICACION PRELIMINAR DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS

Ing. Enrique Indacochea R. de S.

## ALCANCES

Consideramos que sería una pretensión excesiva considerar este documento como un manual en el sentido más amplio de la palabra, si entendemos que un manual debe tratar los diversos aspectos relacionados con el tema en forma amplia y con suficiente profundidad en cada caso. El autor ha pretendido más bien presentar un instrumento más sencillo, casi un formulario de aproximación al diseño de Microcentrales Hidroeléctricas, de ahí el carácter sintético hasta el exceso de la presentación del material. Obviamente esta aproximación nos obliga a dejar de lado algunos comentarios y recomendaciones de utilidad, así como cualquier demostración de las fórmulas que se emplean.

Este documento está dirigido especialmente hacia los ingenieros jóvenes o aquellos que no hayan tenido experiencia profesional en el campo de la hidroenergía, estando al alcance de los profesionales de cualquier especialidad de ingeniería siempre que su formación comprenda estudios fundamentales de hidráulica y energética.

No se pretenden dosis de originalidad en los planteamientos, justamente se ha hecho un esfuerzo en el sentido contrario, a fin de poder presentar soluciones prácticas para la aplicación de algunas tecnologías no convencionales aún no muy difundidas, como sería el empleo de tuberías de presión en materiales no metálicos.

Los principios fundamentales contenidos son aplicables a cualquier tipo o tamaño de central, sin embargo algunos aspectos metodológicos en cuanto a la simplificación de la ingeniería del proyecto y la aplicación de algunas tecnologías no convencionales, resultan particularmente relevantes para las potencias menores disminuyendo su aplicabilidad conforme se crece hacia potencias mayores, de ahí que adoptemos en el título el término "Microcentrales Hidroeléctricas" el cual, según el sistema de clasificación adoptado por OLADE, corresponde a las centrales de potencias inferiores a 50 kW, tal como se explica en el siguiente capítulo.

Por otra parte, pese a que la tecnología hidroenergética tiene un carácter universal, se ha querido acentuar aquellos elementos que a juicio del autor tienen mayor relevancia para Latinoamérica, en cuanto a la terminología empleada y sus equivalencias regionales, las tecnologías y equipos con mayores perspectivas de disponibilidad en la región y al acento sobre las aplicaciones en caídas medianas y elevadas.

Este documento se divide en dos partes; en la primera se presentan cuestiones de carácter general, en cuanto a clasificación y definiciones, métodos simplificados de evaluación de la demanda energética y evaluación de los recursos hídricos, así como procedimientos de cálculos básicos para especificar una central. En la segunda parte, se tratan en mayor detalle cuestiones relativas a las especificaciones de las obras civiles y la selección de equipamiento.

En la presente publicación, se presenta solamente la primera parte y los anexos, quedando para una próxima publicación la presentación de una segunda parte del trabajo, en la que se presentarán algunas consideraciones de carácter general para la especificación de las obras civiles y se tratará en mayor detalle la especificación y relación de cada uno de los equipos e instalaciones que integran una Microcentral Hidroeléctrica.

## PRIMERA PARTE: EVALUACIONES GENERALES Y CALCULOS BASICOS

### 1. Clasificación y definiciones

#### 1.1 Clasificación

Adoptamos el sistema propuesto por OLADE

##### a) Según potencias y saltos

- Los rangos de potencia y salto son indicativos solamente
- Los saltos bajos, medio y elevado corresponden aproximadamente al empleo típico de turbinas Axiales, Francis o Michell-Banki y Pelton respectivamente.
- La denominación "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas" corresponde también al conjunto de centrales de potencias hasta de 5 000 kW.
- El presente documento está destinado a emplearse principalmente en Microcentrales Hidroeléctricas con caídas medianas y elevadas.

##### b) Según la captación

- A filo de agua (toma lateral desde cauce principal).
- Con embalse o represa.

##### c) Según su regulación

	Rango Potencia	SALTO (mt)		
		BAJO	MEDIO	ELEVADO
Micro centrales Hidroeléctricas	Hasta 50	menos de 15	15-50	más de 50
Mini centrales Hidroeléctricas	50-500	menos de 20	20-100	más de 100
Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	500-5 000	menos de 25	25-130	más de 130

CUADRO No. 1 RANGOS DE POTENCIA Y SALTO

- Regulable (control del caudal al ingreso de la turbina), a su vez puede ser manual o automático.
- De carga constante, sea por naturaleza propia de la carga o por la disipación del exceso de energía.

d) Según su vinculación con el sistema eléctrico

- Centrales aisladas.
- Centrales integradas a pequeños sistemas eléctricos.
- Centrales integradas a grandes redes zonales o nacionales.

e) Según su concepción tecnológica

Es una clasificación indicativa referida a la naturaleza de los principales elementos tecnológicos de una central.

- Centrales con tecnologías convencionales. Comprenden obras civiles de calidad en la toma, canal y cámara de carga; desarenado en toma, tubería de acero, equipo electromecánico de alto costo y construido con los más exigentes criterios de materiales y procesos de fabricación, tableros ampliamente instrumentados.
- Centrales con tecnologías no convencionales. Frecuentemente emplean tomas y canales de riego existentes que son mejorados, cámara de carga instalada en línea sobre el canal e incluyendo el desarenador, equipos elec-

tromecánicos diseñados y construidos con tecnologías adecuadas al nivel de desarrollo industrial del país y considerando la disponibilidad de materiales nacionales, equipos estandarizados, tableros modulares y con un mínimo de instrumentación.

## 1.2. Definiciones

Se presenta un glosario explicado de los principales elementos de una central, señalando entre paréntesis términos alternativos empleados en algunos países de la región.

- a) Obra de toma. Puede incluir obras de embalse (presas, cortinas) del cauce principal, captación a filo de agua (captación lateral, toma de río). Frecuentemente se instalan presas sumergidas (soleras, barrajes) para elevar el nivel del agua al ingreso de la toma.
- b) Conducción. Puede tomar la forma de canal o túnel que porta el agua desde la toma hasta la cámara de carga, o más lejos cuando se utilizan canales de regadío.
- c) Cámara de carga (taza, tanque de carga, reservorio). Es-

estructura que recibe el agua del canal antes de su ingreso a la tubería de presión.

- d) Desarenador (separador de sólidos, sedimentador). Estructura civil para facilitar el asentamiento de las partículas sólidas suspendidas en el agua al reducir la velocidad de flujo. Puede instalarse en la toma o en la cámara de carga.
- e) Compuertas. Dispositivo para controlar el flujo en tomas, canales y cámaras de carga.
- f) Rejillas (mallas). Dispositivos para evitar el paso de sólidos, flotantes, o arrastrados por encima de determinada dimensión.
- g) Tubería de presión (tubo, ducto de presión). tubería que transporta el agua desde la cámara de carga hasta la turbina y que permite aprovechar la energía potencial del salto.
- h) Salto (salto bruto, caída). Altura vertical desde el nivel libre del agua en la cámara hasta el nivel de máximo aprovechamiento en la turbina.
- i) Válvula Principal. Elemento de aislamiento de la turbina con respecto a la tubería de presión. Normalmente no se usa para fines de regulación.
- j) Turbina. Motor hidráulico que aprovecha la energía hidráulica disponible y la convierte en energía mecánica.
- k) Transmisión turbina-generador. Sistema para transmitir la energía desde el eje de la turbina hasta el eje del generador; puede ser por acoplamiento directo o por medio de transmisión sea por fajas (bandas) en "V" o planas, engranajes o cadenas.
- l) Generador. Máquina eléctrica que convierte la energía mecánica en energía eléctrica; puede ser un alternador (generador sincrónico o síncrono) o un generador asíncrono (generador asíncrono, motor eléctrico invertido).
- ll) Tablero de control e instrumentación (tablero, sistema de control, tablero de mando).

m) Transformador.

n) Línea de transmisión. En pequeñas centrales hidroeléctricas se emplean bajas y medias tensiones para la transmisión desde la planta hasta el punto de consumo.

ñ) Línea de distribución (distribución). Se emplea para abastecer los sistemas domiciliarios a baja tensión.

### 1.3 Unidades

Empleamos principalmente las siguientes:

- Longitud y altura metros (m)  
Excepto en lo referente a diámetros y espesores de pared de tubos donde se emplean las dimensiones en milímetros (mm); los valores nominales de tubería estándar también se expresan en pulgadas (").
- Velocidad metros/segundo (m/s)
- Caudal metros cúbicos/seg. (m<sup>3</sup>/s)
- Trabajo kilowatt-hora (kW-H)
- Potencia kilowatt (kW)

Excepto para indicadores de requerimientos de capacidad instalada *per cápita* que se expresan en Watt (W) y para la velocidad específica "de Potencia"  $N_s$ , donde los valores de la potencia se expresan en caballos de vapor (CV).

- Velocidad de giro. Revoluciones/minuto (R.P.M.)
- Esfuerzo. Kilogramo fuerza/milímetro cuadrado (kg-fmm<sup>2</sup>)
- Temperatura. Grados centígrados (°C)

En el Anexo II se muestran algunos factores de conversión de unidades.

### 2. Estimación de la demanda energética

La presente metodología no pretende analizar aspectos de factibilidad económica financiera de proyectos, sino sólo presentar aquellos elementos que permitan determinar característica técnicas y alternativas para orientar el análisis

preliminar de proyectos de Microcentrales Hidroeléctricas. Sin embargo no está de más mencionar que la profundidad y amplitud de los estudios que se considere realizar para cada proyecto específico, debe estar relacionada con la seguridad que se pretende dar a la inversión, en consecuencia debe existir una proporción adecuada entre los costos de estudios y la inversión total en el proyecto.

Para los fines indicados, el análisis de la demanda puede sustentarse en los siguientes aspectos:

- Un análisis socio-económico global, basado en información de campo y del que se desprendan perspectivas de desarrollo energético.
- Aplicación de indicadores para determinar los requerimientos de capacidad instalada.
- Aplicación de indicadores y tipificación de la demanda energética para evaluar los consumos probables de energía.

### 2.1. Análisis socio-económico

**Objetivo:** Determinar información básica sobre requerimientos y demanda energética.

**Método:** Encuesta directa (total o muestra suficientemente grande según tamaño de la población). Apreciación sobre perspectivas, proyecciones e identificación de proyectos de actividades productivas insumidoras de energía.

**Alcances:**

- Población. Número, tamaño de familias, distribución por actividades, niveles de ingreso, nivel cultural, etcétera. Tipificación de posibles niveles de satisfacción de necesidades energéticas. Información histórica sobre crecimiento (o estancamiento); migraciones. Previsiones de crecimiento (tasas), previsión de elevación de los índices de requerimientos energéticos (tasas).
- Actividades Económicas. Descripción de actividades productivas y de apoyo existentes; impacto económico. Potencial de la zona. Identificación de proyectos en actividades insumidoras de energía.

Requerimientos para el desarrollo de proyectos; plazos.

- Transportes y Comunicaciones. Sistemas de transporte (personal y carga); carreteras, correo, telecomunicaciones, etc.
- Servicios. Agua potable, desagüe, disponibilidades de energía; comercio.
- Educación. Escuelas y actividades culturales; necesidades educacionales y sus requerimientos energéticos específicos.
- Descripción física de la localidad. Ubicación geográfica, distancia, descripción física (calles, distancias, tipos de construcción, etc.)

### 2.2. Determinación aproximada de la capacidad instalada requerida

Para evaluaciones preliminares o cuando se tiene limitada información socio-económica sobre la población, especialmente en cuanto al tamaño promedio de las familias, es conveniente utilizar índices de requerimientos de capacidad instalada por habitante, cuya magnitud depende de:

- Nivel socio-económico y cultural de la población.
- Existencia de suministro eléctrico.
- Factor de carga; el efecto de cargas de punta elevadas tiende a incrementar los requerimientos de la capacidad instalada. Es importante considerar los niveles de simultaneidad en el consumo, principalmente entre el consumo doméstico y el de actividades productivas.
- Existencia de sistemas y educación para el uso racional de la energía.
- Tamaño promedio de las familias.

Los indicadores de requerimientos de capacidad instalada *per cápita* en el medio rural latinoamericano pueden variar ampliamente. Para el caso particular de poblaciones aisladas con bajo nivel de desarrollo socio-económico los requerimientos se sitúan entre 30 w/habitante (Ref. 1), hasta 100 W/habitante (Ref. 2). En estimativos sin mayor análisis es razonable asumir un valor de 50W/habitante.

Cuando se dispone de mayor información socio-económica es más racional utilizar indicadores por unidad familiar o residencia, ya que las necesidades energéticas a nivel do-

méstico están más vinculadas al número de viviendas que a la población en general.

Un valor mínimo sería del orden de 250 W/vivienda, pudiendo considerarse valores mayores del orden de 500 W/vivienda (Ref. 2.)

En la determinación de la capacidad instalada merecen estudiarse las previsiones de simultaneidad entre el consumo doméstico y el carácter productivo. Frecuentemente en las aplicaciones de Microcentrales Hidroeléctricas (menores a 50 kW) en poblaciones aisladas en latinoamérica es probable una utilización vespertina de la energía eléctrica (6-12 horas) para fines domésticos y de iluminación pública; en este caso la capacidad instalada seleccionada para cubrir esas puntas generalmente deja un amplio margen de disponibilidad de planta para las actividades productivas existentes y nuevas actividades que se desarrollen para operar principalmente durante el día (agroindustria, servicios, etc.), o en la madrugada (panaderías).

2.3. Metodología analítica para determinar la capacidad instalada requerida y el consumo energético

En el número anterior se señalan algunos índices que permiten estimar los requerimientos de capacidad instalada en forma preliminar, sin embargo para definir estos requerimientos con mayor precisión conviene analizar en mayor detalle la estructura de la demanda que se señala a continuación y que se ilustra en el cuadro No. 2, cabe señalar que este método resulta aplicable para centrales aisladas que operan el sistema en forma discontinua.

El sistema consiste en analizar los requerimientos de energía en función de "periodos" discontinuos en los que se puede dividir un día típico de operación y para cada "sector" de consumo, determinando la "carga de punta" y un "factor de carga específico" para cada "periodo" y "sector", en la forma siguiente:

a) Carga de Punta (Cp) para cada "periodo" diario y "sector"; se establece identificando los requerimientos de capacidad instalada de consumo (Ci) que pudiera estar operando corregidos por un factor de simultaneidad (f) probable. Por seguridad y cuando se considera posible que la carga de punta equivalga a la capacidad instalada de consumo se asumirá  $f_s = 1$ . En general este factor será inferior a la unidad, salvo que los requeri-

mientos de arranque de motores eléctricos sean tales que obliguen a considerar valores superiores a la unidad.

$$C_p = f_s \times C_i$$

Cp en kW  
Ci en kW

b) Coeficiente de carga específico (fc) para cada "periodo" diario y "sector", definido como la relación entre la "carga media" (Cm en kW y la "carga de punta" (Cp).

Los "periodos" diarios son grupos de horas de un mismo día en que se espera que la central funcione continuamente, dependiendo de las características de la demanda prevista durante el día, por ejemplo en una central destinada exclusivamente a iluminación nocturna puede considerarse un "periodo" único de 6 p.m. hasta las 11 p.m. En línea de máxima señalamos tres periodos más o menos típicos de utilización de energía en una población aislada con una buena diversificación de la demanda:

- 1er. Periodo; pudiera definirse de 2 a.m. a 5 a.m. requerido por actividades tales como la panificación.
- 2do. Periodo; pudiera definirse de 7 a.m. a 5 p.m. caracterizado principalmente por la demanda de actividades productivas (agroindustria, servicios, etc.)
- 3er. Periodo; pudiera definirse de 6 p.m. a 11 p.m. caracterizado principalmente por los requerimientos de iluminación pública y consumo doméstico.

A su vez es necesario definir los sectores de consumo, que para fines del análisis de la demanda propuesta, se sugiere reducir a un mínimo desagregado en la forma siguiente:

- Iluminación Pública. Su factor de carga específico sería cercano a la unidad, reducido sólo por la incidencia de puntos de iluminación dañados pudiendo asumirse un valor de  $f_c = 0.95$ .
- Consumo doméstico. Se deben establecer las características de consumo según grupos típicos de la población, estableciendo la familia y residencia tipo para cada grupo. También debe considerarse si se piensa instalar dispositivos de iluminación del consumo que tienden a reducir las puntas.

En el caso de las poblaciones aisladas del medio rural con bajos niveles de ingreso, su consumo doméstico estará dado principalmente por los requerimientos de iluminación, con coeficientes de carga específicos bastante elevados (del orden del 80%).

Para cada resistencia de tipo se debe estudiar su capacidad de consumo y los factores de carga específicos aplicables a fin de determinar por acumulación los requerimientos de capacidad instalada.

- Consumo productivo y de servicios. Dado que no es de esperar un gran número de unidades productivas y de servicios atendidas por una Microcentral, los requerimientos de capacidad instalada y consumos se pueden aproximar analizando los procesos productivos y requerimientos energéticos en cada caso.

Los requerimientos de energía para las actividades productivas y de servicios deben estudiarse considerando lo siguiente:

- Posibilidad de utilización de la disponibilidad de planta existente para fines productivos durante el día y la madrugada, perspectivas de expansión de la actividad productiva, excedentes diurnos de disponibilidad para eventual utilización doméstica.
- Limitaciones en el uso del agua durante el día debido a otras prioridades (agricultura principalmente), esto puede ser significativo en microcentrales que utilizan canales de riego existentes; considerar aspectos institucionales.
- El arranque de motores eléctricos puede duplicar transitoriamente los requerimientos de potencia de cada unidad (Ref. 2, Ref. 3). Un adecuado control para secuencias de arranque de motores en pequeñas poblaciones es viable, también se puede considerar el empleo de dispositivos de arranque con tensión reducida (costosos).
- Posibilidades de utilización directa de energía mecánica.

- c) Carga Media ( $C_m$ ). Está dada por el producto de la carga de punta y el coeficiente de carga específico.

$$C_m = f_c \times C_p$$

- d) Consumo de energía ( $c$ ). Para cada "periodo" y "sector" estará dado por el producto de la carga media y el número

de horas ( $h$ ) correspondiente al periodo, en la siguiente forma:

$$c = C_m \times h$$

La suma de los consumos de cada periodo del día nos da el consumo diario de energía y la suma de los consumos de cada sector durante el día nos da el consumo diario del sector.

Para determinar el consumo anual se deben considerar eventuales elementos estacionales en el consumo diario y los periodos de parada previstos por razones de mantenimiento o limitaciones en el uso del agua.

- e) Determinación de la capacidad instalada.

Luego de sumar las cargas de punta de todos los sectores para cada periodo, se selecciona aquel periodo que requiere la mayor carga de punta como referencia para determinar los requerimientos de capacidad instalada.

La definición de la capacidad instalada debe tomar en cuenta tanto las pérdidas energéticas en la transmisión y distribución como por otra parte, una apreciación cualitativa sobre las posibilidades de coincidencia de las cargas de punta de los sectores en un mismo periodo, así como las limitaciones en cuanto a continuidad del servicio y cortes eléctricos.

Por otra parte debe considerarse también la proyección de la demanda futura tanto en función de crecimiento poblacional como de incremento de los índices unitarios de demanda, evaluando las ventajas y desventajas comparativas de contar con excedentes de capacidad instalada o requerir eventuales incrementos de capacidad instalada.

Es importante tomar en cuenta que en muchos países de latinoamérica no es necesario considerar índices de crecimiento en la población rural debido a intensos procesos de migración hacia las ciudades, lo cual sólo parcialmente sería atenuado con la disponibilidad de energía eléctrica.

### 3. Evaluación del medio físico y estimación del recurso aprovechable

Dado el marco de referencia de la presente metodología no pretendemos exhaustivar el análisis de métodos de eva-

**CUADRO No. 2. DIAGRAMA DE ANALISIS DE CARGA Y CONSUMO  
(EJEMPLO PRACTICO)**

		Sector Iluminación Pública	Sector Consumo Doméstico	Sector Consumo Produc- tivo y Servicios	TOTALES
Capacidad Instalada de Consumo Prevista (kW)		8	20	10	
PERIODO "1" 2 a.m. - 6 a.m. (4 horas)	Carga de Punta (kW)	—	-	2	2
	Coefficiente de carga especí.f.	—	—	0.8	
	Carga Media (kW)	—	—	1.6	
	Consumo de Energía (kW-h)	—	—	6.4	6.4
PERIODO "2" 7 a.m. - 5 p.m. (10 horas)	Carga de Punta (kW)	—	—	12(*)	12
	Coefficiente de carga especí.f.	—	—	0.7	
	Carga Media (kW)	—	—	8.4	
	Consumo de energía (kW-h)	—	—	84	84
PERIODO "3" 6 p.m. - 11 p.m. (5 horas)	Carga de Punta (kW)	7.2	18	—	25.2
	Coefficiente de carga especí.f.	0.95	0.8	—	
	Carga Media (kW)	6.84	14.4	—	
	Consumo de energía (kW-h)	34.2	72	—	106.2
Consumo Diario de Energía (kW-h)		34.2	72	90.4	196.6

\* Considerando el arranque del motor eléctrico de mayor potencia.

En este caso se consideró una capacidad instalada de 26 kW (sin tomar en cuenta el crecimiento futuro de la demanda)

luación del medio físico sino solamente identificar aspectos a evaluarse y sus limitaciones, poniendo acento más bien en conocidos métodos para calcular los parámetros principales de proyectos específicos; es decir caudal disponible y salto aprovechable.

### 3.1 Requerimientos mínimos para el reconocimiento

Para proyectos específicos de microcentrales hidroeléctricas, se deben reducir al mínimo los estudios de reconocimiento del medio físico en razón de su elevado costo en relación con la inversión. Resulta más bien recomendable orientar los estudios del medio físico hacia la evaluación

de cuencas y subcuencas, en forma tal que no sólo se determine el potencial de una cuenca dada, sino que también se pueda aprovechar y generalizar la información obtenida para aplicarse en proyectos específicos, sin tener que realizar estas evaluaciones para cada proyecto.

El nivel de reconocimiento del medio físico de una cuenca puede comprender los siguientes aspectos:

- Hidrología
- Ecología
- Geología
- Geomorfología
- Geotecnia
- Disponibilidad de agregados

Los cuales al ser aplicados al estudio de cuencas y subcuencas para microcentrales hidroeléctricas deben considerarse lo siguiente:

#### a) *Hidrología*

**Objeto.** Estimar los caudales aprovechables para microcentrales, generalmente determinando caudales mínimos, caudales con una probabilidad de excedencia del orden del 950/o.

**Aspectos Metodológicos.** La determinación del caudal mínimo generalmente se obtiene a partir de las curvas de caudal/duración, sin embargo frecuentemente se tienen dificultades para determinarlas por métodos directos, dado que muchas veces no se cuenta con registros hidrométricos, debiendo recurrirse a métodos indirectos mediante la determinación y aplicación de valores índices.

También es posible establecer criterios de similitud constante entre las subcuencas y las cuencas principales, que permitan la generalización de la información hidrológica más probablemente disponible para las cuencas mayores, principalmente para las curvas de precipitación/duración y caudal/duración.

La información pluviométrica disponible debe ser completada estableciendo ecuaciones de regresión con los datos existentes, igualmente se debe proceder con la información hidrométrica disponible generalmente aplicando criterios de interpolación para completar los registros de caudales. También es posible la utilización de modelos hidrológicos cuando no se tienen series hidrológicas representativas en las subcuencas, simulando series de escurrimiento para el área de drenaje considerada. Un modelo interesante que requeriría alguna adaptación para ser aplicado en América Latina es el sistema SNSF-Noruego en el que la transferencia a través de cada subcuenca es simulada por un sistema de tanques (Ref. 4D).

En última instancia el caudal mínimo mensual o aquél que exceda el 950/o del tiempo, considerando el empleo predominante de microcentrales a "filo de agua", puede definirse como un porcentaje del caudal promedio multianual. Se pueden establecer ecuaciones que relacionen el caudal medio anual con el rendimiento hídrico medio anual ( $m^3/S/km^2$ ) y la correspondiente área de drenaje de la cuenca, lo que conjuntamente con las curvas de duración deter-

minadas indirectamente, puede llegar a determinar expresiones lineales para el cálculo de los caudales mínimos mensuales.

Los caudales diarios pueden variar considerablemente, siendo los valores mínimos diarios generalmente inferiores a los mínimos mensuales; sin embargo su predicción es muy incierta, lo cual resultaría en un problema aparentemente difícil de salvar, considerando que en el caso de las microcentrales "a filo de agua" la acumulación es prácticamente despreciable. A pesar de esta dificultad, el problema es poco relevante en razón de que la ocurrencia de caudales mínimos diarios inferiores a los mensuales sólo afectaría transitoriamente la operación de la planta.

Idealmente sería conveniente contar con aforos sobre el cauce de donde se derivarían las aguas por un periodo mínimo de tres años, sin embargo esto sólo resulta práctico para conjuntos de proyectos en una cuenca dada y no para una microcentral específica.

También la información referencial suministrada por la población local, debidamente interpretada, puede contribuir a estimar caudales históricos, principalmente para las crecidas. Los caudales máximos constituyen una útil referencia para el diseño de las obras civiles, sobre todo en cuanto a su protección.

#### b) *Ecología*

**Objeto.** Describir el medio en el que se desarrollarán las plantas a fin de ver su influencia en las características de los proyectos, formas constructivas, materiales y equipos a emplearse; su efecto sobre las expectativas de conservación y recíprocamente el efecto de la instalación de microcentrales en la ecología de la cuenca o subcuenca.

**Aspectos Metodológicos.** Este tipo de estudio es apropiado sólo para la evaluación de cuencas y no de proyectos específicos por las razones señaladas anteriormente, en este último caso sólo se requieren comentarios generales sobre los aspectos ecológicos.

Comprende los siguientes aspectos:

- Clima
- Zonas biológicas
- Suelos (desde el punto de vista de su utilización por el hombre)
- Vegetación



- Fauna
- Aguas y Biología Acuática

#### c) Geología

Objeto. Determinar las características básicas y composición del suelo y subsuelo de la cuenca con la finalidad de establecer bases de orientación general para la construcción, principalmente en los aspectos estructurales y sísmicos.

Aspectos Metodológicos. Conviene realizar estudios aplicables a cuencas y subcuencas más que a proyectos específicos. Los aspectos de estudio más relevantes son:

- Litología (formaciones geológicas, aplicando métodos de estratigrafía)
- Geología Estructural (fallas, orientación, actividad volcánica)
- Sismología (registros, probabilidad de sismos y su magnitud)

#### d) Geomorfología

Objeto. Estudiar la conformación de la superficie del terreno y su evaluación para determinar principalmente la acumulación y depósito de sedimentos en los cursos de agua, considerando su aplicación en la erosión del equipamiento y en la consecuente necesidad de un adecuado diseño de los sistemas de desarenado y selección de materiales para las turbinas (principalmente rodets y sistemas de inyección). También permite orientar la selección final de la ubicación de las obras en cuanto a posibles deslizamientos y aluviones.

Aspectos Metodológicos. Identificación de estructuras a partir de mapas geomorfológicos principalmente en cuanto a escarpes, vertientes y fondo del valle (cauce del río); aplicables al estudio global de cuencas y subcuencas.

#### e) Geotecnia

Objeto. Estudio de los suelos en cuanto a sus características, propiedades mecánicas, estabilidad y niveles freáticos, principalmente para orientar la construcción de las obras hidráulicas.

Aspectos Metodológicos. La aplicación de estudios geotécnicos a nivel de cuencas y subcuencas es limitada dada

la enorme diversidad de variaciones puntuales, en consecuencia en este caso está restringida a aspectos descriptivos derivados de los estudios geológicos.

El estudio geotécnico es particularmente relevante para el estudio de suelos en posibles ubicaciones específicas de las obras civiles, a fin de orientar la selección de las ubicaciones definitivas y definir requerimientos de diseño.

La amplitud de su empleo está ligada a la magnitud del proyecto específico tanto en cuanto a los costos de estudio como a los riesgos de la obra en sí. En el caso de Microcentrales Hidroeléctricas los estudios geotécnicos generalmente deben reducirse a un mínimo dado por apreciaciones cualitativas, principalmente mediante excavaciones y sondeos, determinación aproximada de la capacidad portante del suelo y estimación de factores de seguridad para el diseño de la toma, cámara de carga, algunos anclajes de tubería y cimentación del equipo principal.

#### f) Disponibilidad de agregados

Objeto. Estudiar la existencia de materiales adecuados para agregados (piedra, grava, arena, etcétera), factor importante para reducir los costos de las obras y asegurar adecuada selección de materiales, diseños de obras y métodos constructivos.

Aspectos Metodológicos. Estudio diferenciado de la existencia y características de los principales tipos de materiales requeridos (material granular, materiales de enrocado, material de cantera, etcétera).

### 3.2 Mediciones de caudal

Se describen tres procedimientos:

- Medición aproximada por medio de flotador.
- Medición por medio de vertedero rectangular.
- Medición por medio de vertedero triangular.

#### a) Medición aproximada por medio de flotador

Este método permite una rápida y sencilla medición aproximada del caudal de agua que se desplaza en una conducción a pelo libre. Cuando se realizan las mediciones cuidadosamente, el error es del orden de más o menos 20%, en consecuencia, debe emplearse sólo para una primera estimación de caudales.

**PRINCIPIO:**

Se basa en que el caudal es el producto de la velocidad media de flujo por la sección de la parte sumergida del canal considerando las siguientes hipótesis:

- Que la velocidad superficial debidamente corregida con un factor que depende del material de las paredes del canal y la relación sección/perímetro mojado, equivale a la velocidad media del agua.
- Que la sección media del canal es el promedio de dos o tres secciones medidas del tramo del canal empleado para medir la velocidad.

**INSTRUMENTOS Y MATERIALES:**

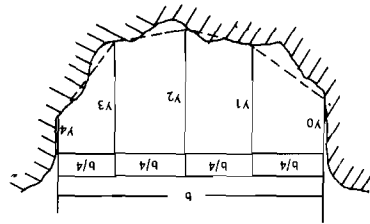
- 1 Cronómetro.
- 1 Cinta de 1-3 m de longitud con graduaciones en mm, (para medir el ancho del canal).
- 1 Regla de plástico de 30-100 cm de longitud graduada en mm (para medir la profundidad del canal).
- 1 Cinta de 10-3 m (para medir la longitud del tramo de canal seleccionado).
- 1 Flotador (puede ser una botella pequeña llena con 1/3 de agua, un trozo de madera, etcétera (para determinar la velocidad del agua).

**PROCEDIMIENTO:**

1. Seleccionar un tramo del canal aguas arriba del punto de utilización del agua, pero aguas abajo del último punto de derivación de agua para otros fines. El tramo seleccionado debe ser bastante recto y de sección relativamente uniforme en toda su longitud. Se recomienda una longitud (x) del orden de 10m.
2. Luego de medir y marcar el tramo seleccionado, lanzar el flotador antes del punto inicial y tomar el tiempo (t) en segundos que demora en recorrer la longitud seleccionada. Repetir varias veces la prueba, observando si el flotador en algún punto toca el fondo o los bordes para descartar la prueba. Si las pruebas son dispersas sobre un rango pequeño, promediar el tiempo. Si hay una agrupación superior y otra inferior, promediar la inferior, dado que la superior pudiera haber estado sometida a retardo.
3. Calcular la Velocidad Superficial:

$$V = \frac{x}{t} \text{ (m/seg)}$$

4. Seleccionar 2 ó 3 secciones que caractericen el canal y dividir el ancho de cada sección del canal en cuatro partes. Para cada sección, medir la profundidad inicial en el primer cuarto, al centro, en el tercer cuarto y la profundidad del lado opuesto.



5. Calcular cada sección por el método de los trapecios:

$$S = \frac{b}{4} \left[ \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right] \text{ (m}^2\text{)}$$

6. Calcular el Ratio Sección/Perímetro mojado para cada sección:

$$\frac{S}{P} = \frac{\left(\frac{b}{4}\right) \left[ \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right]}{y_0 + \sqrt{(y_0 - y_1)^2 + \left(\frac{b}{4}\right)^2} + \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + \left(\frac{b}{4}\right)^2} + \sqrt{(y_2 - y_3)^2 + \left(\frac{b}{4}\right)^2} + \sqrt{(y_3 - y_4)^2 + \left(\frac{b}{4}\right)^2} + y_4} \text{ m}^2/\text{m}$$

7. Determinar el factor de corrección (k) de velocidad promedio gráficamente por medio de la Figura 1, o empleando la siguiente ecuación empírica:

$$k = A \left[ L_n \left( \frac{S}{P} \right) \right] + B$$

	A	B
CANAL DE BARRO	0.0905	0.782
CANAL DE PEDRUSCOS	0.0362	0.847
CANAL DE CONCRETO	0.0150	0.893

Es conveniente calcular el valor del factor k para cada sección, sin embargo, cuando la diferencia entre el valor mayor y menor de S/P de dos secciones, sea inferior a 0.1, basta con promediar los valores de S/P de todas las secciones consideradas y determinar un solo valor del factor de corrección k.

8. Calcular el caudal

$$Q = V k S = V \left[ \frac{k_1 S_1 + k_2 S_2 + \dots + k_n S_n}{n} \right] \text{ m}^3/\text{s}$$

donde n = número de secciones consideradas generalmente 2 ó 3.

Si se ha determinado un solo valor del coeficiente k para todas las secciones, la fórmula queda simplificada en la siguiente forma:

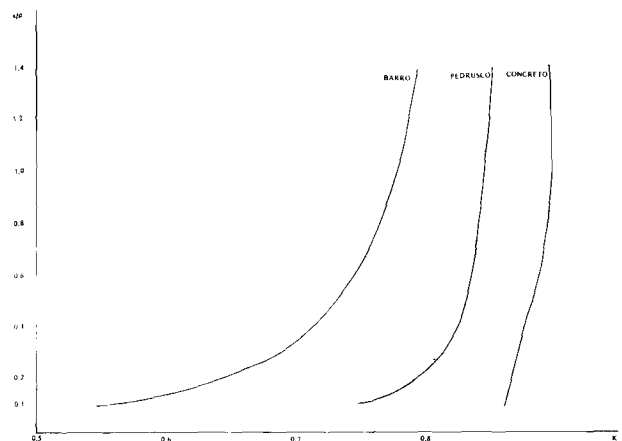
$$Q = V k \left[ \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{n} \right] \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Medición de caudal por medio de vertedero rectangular

El vertedero rectangular consiste en una placa, generalmente de madera, montada sobre el cauce de una corriente de agua, la cual tiene una incisión rectangular con un borde biselado, para lo cual se prefiere montar una lámina delgada de acero inoxidable que haga las veces de borde biselado.

El vertedero debe ser dispuesto en forma tal, que debajo del chorro que se encuentre en un espacio de aire "a" y que el ancho "b" de la incisión rectangular, sea menor que el ancho del cauce "B" (Figura 2), a fin de evitar distorsión en los resultados por la presencia de torbellinos.

Conviene instalar el vertedero en un tramo recto y de sección relativamente uniforme. Dos metros aguas arriba del vertedero (mínimo un metro) se debe clavar una estaca de madera sobre el fondo, cuya parte superior quede a nivel con el borde horizontal del vertedero, o si no instalar directamente un jalón medido en lugar de la etaca, cuyas medidas sobresalgan sobre el nivel del agua y el cero se en-



Coeficiente de correlación de velocidad (K)

cuentre a nivel con el mencionado borde horizontal del vertedero.

El caudal se calcula en la siguiente forma:

$$Q = \frac{2}{3} n b h \sqrt{2gh}$$

donde:

Q es el caudal en m<sup>3</sup>/s.

b es la altura del pelo libre del agua sobre el borde del vertedero en m.

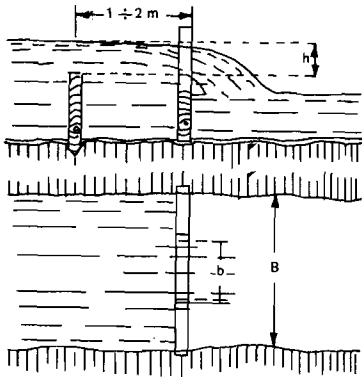
g es la aceleración estándar de la gravedad; 9.81 m/seg<sup>2</sup>.

n es el coeficiente del vertedero, pudiendo tomarse un valor medio de 0.63, pero puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula empírica, válida para valores de b ≥ 0.1 m:

n es el coeficiente del vertedero, pudiendo tomarse un valor medio de 0.63, pero puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula empírica, válida para valores de b ≥ 0.1 m:

$$\frac{2}{3} n = 0.3838 + 0.0386 \frac{b}{B} + 0.00053 \frac{1}{h}$$

donde B es el ancho total del cauce donde está montado el vertedero.



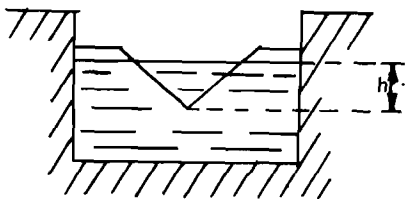
Una medición correctamente realizada con un vertedero bien instalado y construido no debe arrojar errores de un orden superior a más o menos 10% en la medición del caudal.

### c) Medición del caudal por medio de vertedero triangular

Se utiliza preferentemente para la medición de aforos reducidos inferiores a 0.2 m<sup>3</sup>/s y en canales de ancho reducido con respecto a su profundidad donde no resulte viable la instalación de un vertedero de sección rectangular.

La disposición para medir la altura "b" es semejante a la del vertedero rectangular, sólo que ésta se refiere al vértice inferior del vertedero (Figura 3) empleándose la siguiente fórmula:

$$Q = 1.415 h^{5/2}$$



### 3.3 Nivelación aproximada para determinar el perfil de la caída

Consideramos que existe suficiente literatura sobre métodos de nivelación topográfica que normalmente se emplean para determinar el perfil de la caída y consecuentemente

el salto bruto aprovechable, las longitudes de la tubería de presión, sus apoyos y accesorios, sin embargo, para fines de una determinación preliminar del salto y perfil, es posible utilizar métodos sencillos que requieren un mínimo de instrumentación y calificaciones del personal que la ejecuta. En el caso particular de las Microcentrales, cuando se requiere reducir al mínimo los gastos de preinversión, y cuando se emplean tuberías de presión no metálicas que se adaptan fácilmente a la conformación del terreno (PVC y polietileno), la determinación aproximada de la caída que se presenta a continuación puede resultar suficiente para fines del proyecto definitivo, considerando que con una medición cuidadosamente realizada, el error en la determinación del salto no será superior a más o menos 3%, lo cual ha sido verificado en forma práctica por el autor.

### INSTRUMENTACION Y MATERIALES

- 1 Cinta de 10 - 30 m de longitud graduada en centímetros, para medir distancias horizontales y alturas de nivelación.
- 1 Jalón de madera o un tubo metálico bien alineado de aproximadamente 3 m de longitud, opcionalmente puede estar graduado en centímetros para simplificar la medición de alturas. Adicionalmente se puede incorporar una plomada para verificar su verticalidad. Se debe evitar el empleo de materiales flexibles o con secciones pequeñas a fin de evitar distorsiones por deflexión.
- 1 Nivel de carpintero (de burbuja) con base no menor de 30 cm.
- 1 Cuerda de 10 - 30 m de longitud.
  - Estacas de madera mínimo 2, sin embargo, conviene dejar las estacas en el lugar donde fueron colocadas, en cuyo caso es necesario contar con una estaca para cada estación de nivelación.
  - Pintura al agua o cal y brocha.
- 2 Jalones rectos de 2 m de alto, sin graduar; pueden ser cañas derechas (para referencias del punto inicial de nivelación al punto final).

### INSTRUMENTOS Y EQUIPOS OPCIONALES.

- Brújula con rumbo para orientar el perfil.
- Cuerda o soguilla en longitud suficiente (100 - 200 m) para trazar el perfil.
- Cal o yeso en polvo para trazar el perfil.

**PROCEDIMIENTO:**

1. Inspección visual y estudio sobre la carta (1:25 000 o menor). Si no se tiene construido el canal, o si se trata de aprovechar un canal existente, es necesario identificar alternativas de ubicación de la cámara de carga y casa de fuerza.

Para seleccionar tentativamente el punto inicial de la tubería y el punto final, considerar entre otros los siguientes factores:

- Proximidad al centro de consumo.
- Máximo desnivel entre las vías de agua, acequias o canales.
- De preferencia seleccionar el punto desde el nivel superior que nos permita una caída brusca, o sea considerar favorablemente aquel punto que permita una mayor "máxima pendiente". Esto permite una mínima longitud de tubería, lo cual tiende a reducir la inversión inicial y la pérdida de carga. Por otra parte considerar las dificultades para el tendido de la tubería.
- Considerar lugares protegidos de aluviones para la toma, como para la eventual ubicación de la sala de máquinas, estudiar en el terreno rastros de aluviones y hacer averiguaciones con los habitantes de la localidad.
- Considerar posibles instalaciones aprovechables (compuertas, casas, molinos abandonados, etc.), que puedan definir la ubicación, aun fuera de sus puntos óptimos.
- De preferencia la tubería de presión no debe pasar por terrenos cultivados.
- Considerar posibles derechos de regantes. Dificultades y problemas legales que se puedan derivar del uso del agua.
- Inspeccionar la toma existente a fin de verificar su estado y posible mejora (y aumento de caudal) sin mayor inversión en el caso de canales existentes.
- Verificar estado de conservación de la acequia o canal que se considere aprovechar.

2. Una vez seleccionados los puntos extremos superior e inferior, plantar dos jalones a fin de orientar el trazo del perfil, si es posible tender un cordel y marcar con cal. Pintar algunas piedras como referencia.

3. Si se está nivelando desde un canal existente, plantar una estaca en el punto más alto y colocar verticalmente el ja-

lón en la orilla más próxima del canal superior; tender un cordel desde el jalón, hasta la estaca y nivelarlo en su parte central (asegurarse que el cordel esté tenso, medir la altura de fijación del cordel sobre el nivel del agua para determinar la altura negativa (- h) desde el nivel de la primera estación y la longitud tensada del cordel (1).

4. Si se nivela a partir de un punto dado, plantar en él una estaca y de ahí continuar la nivelación.
5. Plantar la segunda estaca en un punto inferior a la primera, sobre la pendiente de caída manteniendo el alineamiento definido. Colocar verticalmente el jalón sobre la estaca y en forma similar al anterior, tender, tensar y nivelar el cordel desde la primera estaca hasta el jalón, para determinar la altura positiva (h) y la longitud horizontal (1). Repetir este procedimiento para las estaciones sucesivas, hasta alcanzar el nivel del canal inferior que constituiría la última estación.
6. El salto bruto estará dado por:

$$H_b = h + h_2 + h_3 + h_4 \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i \text{ (m)}$$

7. La longitud proyectada horizontal del perfil estará dada por:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 \dots + l_n = \sum_{i=1}^n l_i \text{ (m)}$$

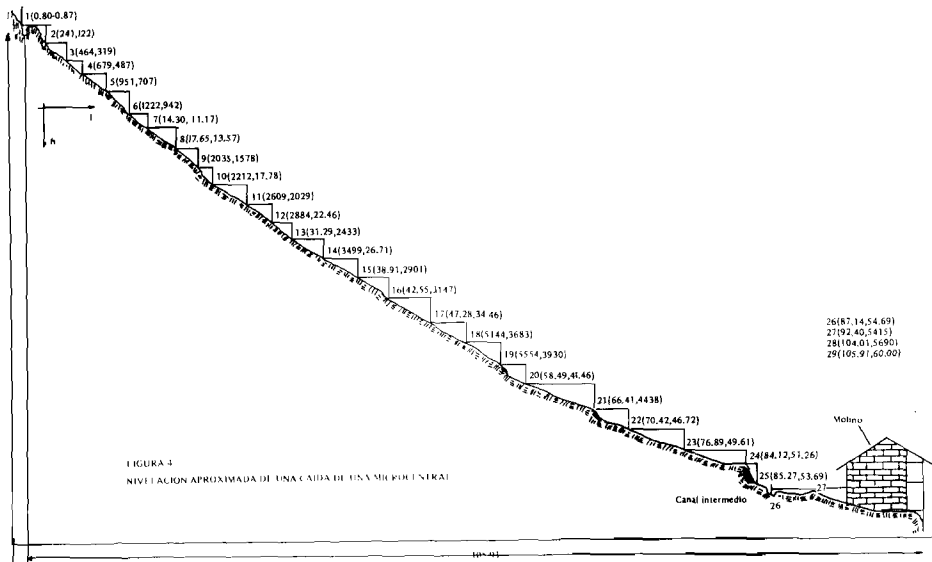
8. La longitud efectiva del perfil (Z) estará dada por:

$$Z = \sqrt{h_1^2 + l_1^2} + \sqrt{h_2^2 + l_2^2} + \sqrt{h_3^2 + l_3^2} + \dots + \sqrt{h_n^2 + l_n^2} = \sum_{i=1}^n \sqrt{h_i^2 + l_i^2} \text{ (m)}$$

En la figura 4 se muestra un ejemplo práctico de nivelación aproximada por el método propuesto.

*4. Procedimiento de cálculo y determinación de especificaciones técnicas*

En este capítulo se desarrolla una secuencia de cálculo para definir las especificaciones de una Microcentral Hidroeléctrica y sus máquinas motrices.



#### 4.1. Definición de potencias y eficiencias

##### a) Potencia en los bornes del generador

Considerando los requerimientos de capacidad instalada que se hayan determinado del análisis de la demanda (Cap. 2), luego de tomar en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución, se establece la potencia requerida en los bornes del generador.

A continuación, debe considerarse una selección preliminar del generador a partir de especificaciones comerciales.

Para microcentrales, es recomendable el empleo de generadores de dos y cuatro polos (1 800 RPM y 3 600 RPM respectivamente a 60 Hz).

Generalmente se seleccionan alternadores, pudiendo considerarse la utilización de generadores asíncronos también.

De acuerdo a las especificaciones comerciales (catá-

logos) se selecciona un tamaño tal que la potencia resultante sea lo más próxima posible a la potencia requerida o ligeramente superior, en la siguiente forma:

$$P_g = kVA \times \cos \phi$$

donde:

$P_g$  es la potencia del generador en kW

kVA es la potencia aparente en kilo volt amperes.

$\cos \phi$  es el factor de potencia, usualmente se fija un valor de 0.8, sin embargo, en aplicaciones rurales es frecuente la predominancia de cargas resistivas, pudiendo entonces especificarse valores mayores (0.9 – 0.95).

Una vez preseleccionado el generador, del mismo catálogo comercial, se determina su eficiencia ( $\eta_g$ ). De no contar con este dato, se puede asumir una eficiencia del orden de 0.86.

Nota: Está a disposición de los interesados el Programa de Cálculo de Microcentrales Hidroeléctricas para minicalculadora programable Texas Instruments, Mod. TI-59, cuya descripción es la siguiente:

Calcula una variable dadas las otras tres, entre salto (m) (bruto o neto), potencia (kW) (de la central o la potencia hidráulica de la turbina), caudal ( $m^3/s$ ) y/o eficiencia (fracción

decimal) (conjunto de eficiencias: hidráulica de la turbina, mecánica de la turbina, transmisión y del alternador) o sólo eficiencia hidráulica (sólo con potencia hidráulica de la turbina). Calcula asimismo las velocidades específicas ( $n_s$  y  $n_g$ ) de la turbina dadas en R. P. M. Calcula Hw para Puc y acero. Nota: Asume Nvolum = 1 en Nhidual. Solicitarlo a OLADE. Casilla 1, Quito, Ecuador.

b) *Potencia Transmitida al generador ( $P_{tr}$ )*

$$P_{tr} = \frac{P_g}{n_g}$$

c) *Potencia al freno de la turbina ( $P_t$ )*

Si se tiene un acoplamiento directo entre la turbina y el generador, ésta será igual a la potencia transmitida al generador; si existe alguna forma de transmisión se debe considerar la eficiencia de la transmisión ( $n_{tr}$ ) en la siguiente forma:

$$P_t = \frac{P_{tr}}{n_{tr}}$$

ENGRANAJES	$n_{tr}$ 0.98
BANDAS O	
FAJAS EN "V"	0.95

d) *Potencia hidráulica de la turbina ( $P_h$ )*

Considerando la eficiencia mecánica de la turbina ( $n_m$ ) determinada por la presencia de pérdidas mecánicas por fricción, se determina así:

$$P_h = \frac{P_t}{n_m}$$

La eficiencia mecánica de la turbina, depende de sus características de diseño, para microturbinas es razonable asumir valores de  $n_m$  en el rango de 0.95 a 0.97.

e) *Potencia absorbida por la turbina ( $P_a$ )*

Se debe considerar la eficiencia hidráulica ( $n_h$ ) de la turbina dada por las características hidrodinámicas de la máquina y la eficiencia volumétrica ( $n_v$ ) dada por las pérdidas de agua que no circula por el rodete, en la siguiente forma:

$$P_a = \frac{P_h}{n_h n_v}$$

La eficiencia hidráulica ( $n_h$ ) depende del tipo de turbina, su diseño hidráulico, las características hidrodinámicas de sus secciones de paso y las proporciones y exactitud en la construcción; en general se pueden considerar los si-

guientes rangos de valores de eficiencia máxima para máquinas de potencias inferiores a 50 kW:

	$n_h$
– Turbinas Axiales	0.86 – 0.92
– Turbinas Francis	0.85 – 0.90
– Turbinas Michell-Banki con buen diseño y construcción	0.75 – 0.82
– Turbinas Michell-Banki de construcción artesanal	0.60 – 0.70
– Turbinas Pelton	0.82 – 0.87

En máquinas bien construidas frecuentemente se desprecia el valor de la eficiencia volumétrica ( $n_v = 1.0$ ), incorporándolo al valor de la eficiencia hidráulica. Alternativamente se pueden considerar valores del orden de 0.98 a 0.99.

En máquinas de construcción artesanal, los valores de la eficiencia volumétrica pueden ser muy reducidos llegando a valores del orden de 0.90 o menos, considerando deficiencias en ajustes, en alineamientos e inexactitudes dimensionales de construcción o montaje, que determinan importantes fugas de agua.

#### 4.2 Especificaciones y alternativas de selección de tubería de presión

En el presente capítulo se analiza el empleo de tuberías de acero y tuberías no metálicas, en este último caso, se presentan datos solamente para tuberías de polietileno, PVC y asbesto-cemento. Cabe señalar que es posible considerar también el empleo de otros materiales, tales como fibra de vidrio, madera y ferro-cemento.

La selección del tipo de tubo, está determinada por su disponibilidad en los diámetros y espesores requeridos y por consideraciones económicas, en las cuales hay que tomar en cuenta, tanto el precio de adquisición, como los costos de transporte, acarreo, montaje y requerimientos de accesorios.

##### a) *Tuberías de acero.*

Constituye la solución convencional más difundida, generalmente se emplean tubos construidos ad-hoc por medio de procesos de rolado y soldado, en consecuencia su diámetro se puede adaptar a los requerimientos del proyecto. Para diámetros pequeños, donde resulta difícilmente realizable el rolado de tubos, se pueden emplear tubos

estándar conformados en frío y soldados. En el cuadro siguiente se señalan sus características dimensionales para la serie normal (cédula 40).

DIA. NOM. (pulg)	DIA. EXT. (mm)	DIA. INT. (mm)	ESPEJOR (mm)
2	60.33	52.50	3.91
2 1/2	73.03	62.71	6.16
3	88.90	77.93	5.49
4	114.30	102.26	6.02
5	141.30	128.19	6.55
6	168.28	154.05	7.11
8	219.08	202.72	8.18
10	273.03	254.51	9.27

#### Tuberías de Acero Cédula 40.

Pueden estar construidas en diversas calidades de acero, para acero estructural ordinario se pueden asumir los siguientes valores:

Esfuerzo de fluencia  $S_f = 21 \text{ kg/mm}^2$

Factor de seguridad 1.5 sobre el esfuerzo de fluencia

Esfuerzo de diseño  $S_d = 14 \text{ kg/mm}^2$

Densidad del material  $= 7.85$

Si bien es la opción más difundida, el empleo de tubería de acero en Microcentrales, es en general la alternativa más costosa, tanto en cuanto a precio de adquisición, como en cuanto a costos de transporte y montaje, en razón de su peso y a la necesidad de soldadura de tramos en el campo y/o la instalación de bridas de unión entre los mismos.

#### b) Tuberías de polietileno

Tienen como ventajas, su costo considerablemente menor que el de las tuberías de acero, si bien mayor al de PVC y al del asbesto-cemento, su instalación es sencilla, ya que se adecúan a la conformación del terreno debido a su capacidad de deformación, requiere un mínimo de anclajes (al pie de las uniones), pueden asentarse directamente sobre el terreno y tienen requerimientos mínimos en cuanto a determinar con exactitud el perfil de la caída antes de su instalación. Asimismo, tienen una buena resistencia a la radiación solar.

Una ventaja adicional está dada por su fácil transporte, pudiendo ser arrolladas en diámetros 32 veces mayores que su diámetro nominal.

Sus principales desventajas están dadas por la necesidad de emplear coples metálicos para la unión de tramos de tubería, los cuales son costosos, requieren un montaje cuidadoso por medio de ajuste forzado en caliente y determinan elevadas pérdidas de carga por estrangulación, además estos tubos generalmente se fabrican sólo para diámetros pequeños, lo que limita su aplicación a las unidades más pequeñas.

A continuación se muestra una tabla de dimensiones de las tuberías de "Clase 10" adecuadas para presiones nominales, hasta de  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

DIAMETRO NOMINAL (pulg)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPEJOR (mm)
3	88.5	70.5	9.0
4	114.0	90.8	11.6
6	168.0	133.8	17.1
8	219.0	174.4	22.3
10	273.0	218.0	27.5

#### Tuberías de polietileno clase 10

Esfuerzo de rotura equivalente en tracción  $2.32 \text{ kg/mm}^2$  (25°C)

Factor de seguridad recomendado 5

Esfuerzo de Diseño  $0.464 \text{ kg/mm}^2$

#### c) Tuberías de PVC

Su costo es menor que los tubos equivalentes de acero y polietileno, pero es mayor que el de asbesto-cemento.

Los tubos de PVC son muy flexibles y se adaptan fácilmente a la conformación del terreno por su deformación elástica, además son muy livianos y fáciles de transportar. La unión de los tramos se realiza por medio de espiga y campana con un pegamento especial.

Sus principales desventajas están dadas por su tendencia a deteriorarse por la radiación solar y a su relativa fragilidad al impacto, en consecuencia conviene instalarlos enterrados.



Sus paredes lisas, determinan reducidas pérdidas de carga. Generalmente se pueden obtener para diámetros hasta de 15" y aun 20" en clase 10 (10 kg/mm<sup>2</sup> de presión nominal) y clase 15 (15 kg/mm<sup>2</sup> de presión nominal). A continuación se presenta una tabla de dimensiones de tubos estándar de PVC clase 10, hasta 10" de diámetro nominal:

DIA. NOM. (pulg)	DIA. EXT. (mm)	DIA. INT. (mm)	ESPESOR (mm)
2	60.0	53.0	3.5
2 1/2	73.0	65.0	4.5
3	88.5	78.9	4.8
4	114.0	102.0	6.0
5	141.8	126.0	7.5
6	168.0	150.2	8.9
8	219.0	195.8	11.6
10	273.0	244.0	14.5

Tuberías de PVC clase 10

Esfuerzo de rotura en tracción (25°C)	= 5-5.2 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura en flexión	= 7-9 kg/mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de rotura en compresión	= 6-7 kg/mm <sup>2</sup>
Operando a presión se recomienda un factor de seguridad de 5, a 20°C.	
Esfuerzo de trabajo	= 1.0 kg/mm <sup>2</sup>
Densidad del material	= 1.43

#### d) Tuberías de asbesto-cemento

Probablemente constituyen una de las más interesantes alternativas para microcentrales, minicentrales y aún para pequeñas centrales, en razón de su bajo costo y amplia disponibilidad en una gran gama de diámetros y espesores.

Tienen excelente resistencia a las condiciones ambientales y su montaje es sencillo. Su principal desventaja está dada por su peso, bastante mayor al de los tubos de PVC y polietileno equivalentes y a su relativa fragilidad que hace recomendable su instalación bajo tierra.

Si bien son rígidos, sus uniones permiten desviaciones angulares hasta de 5°, lo que facilita su adaptación al

perfil del terreno, además sus uniones actúan como juntos de dilatación.

Sus paredes lisas determinan reducidos coeficientes de pérdida de carga, comparables con los correspondientes a tubos de PVC.

A continuación se presenta una tabla de dimensiones estándar de tubos de asbesto-cemento clase 10 (hasta 10 kg/mm<sup>2</sup> de presión nominal) y diámetros hasta de 24":

DIAMETRO NOMINAL (pulg)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)
4	124	100	12
6	178	150	14
8	238	200	19
10	298	250	24
12	354	300	27
14	412	350	31
16	468	400	34
18	526	450	38
20	584	500	42
24	698	600	49

Tubería de asbesto-cemento clase 10

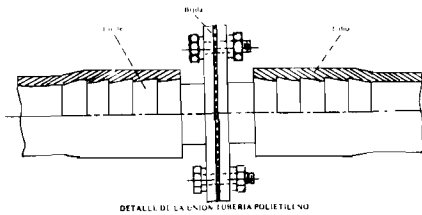
#### 4.3 Cálculo de pérdidas de carga, salto neto y caudal requerido.

Se propone el procedimiento que se resume a continuación. Considerando que en la etapa de diseño y especificación se deben tantear diversas alternativas y condiciones, se recomienda trasladar el proceso de cálculo señalado en el punto 4.1 y en el presente a un programa adaptable a una mini calculadora programable. En la nota de la pág. 62 se presenta un programa adecuado para una máquina Texas Instruments modelo TI-59.

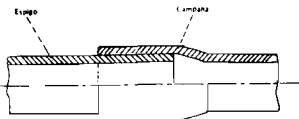
Cabe señalar también que si se tienen como datos la potencia, las eficiencias y el salto bruto, es necesario determinar las pérdidas de carga y caudal por medio de un proceso iterativo.

##### 1. Selección de tubería para el cálculo.

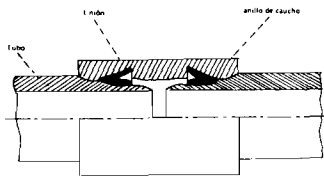
Según las particularidades de la aplicación, se seleccionan en forma tentativa distintos tamaños y tipos de



DETALLE DE LA UNIÓN TUBERÍA POLIETILENO



DETALLE DE LA UNIÓN TUBERÍA PVC



DETALLE DE LA UNIÓN TUBERÍA DE ASBESTO CEMENTO

FIGURA 5

tubería, calcular las especificaciones de la central para cada caso y luego proceder a la selección final del tubo. La secuencia de cálculo se aplica para cada tipo o tamaño de tubo cuya aplicación se quiera verificar.

## 2. Cálculo del caudal.

$$Q = \frac{P_h}{9.807 \eta_h \eta_v H_n}$$

donde:

$P_h$  = Potencia hidráulica de la turbina (kW)

$\eta_h$  = Eficiencia hidráulica de la turbina

$\eta_v$  = Eficiencia volumétrica de la turbina

$H_n$  = Salto neto (m)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

Nota: en la primera iteración se asume que no hay pérdidas de carga, en consecuencia el salto neto ( $H_n$ ) será igual al salto bruto ( $H_b$ ).

## 3. Cálculo de la velocidad en la tubería $C(m/s)$

$$C = \frac{4 \times 10^6 Q}{\pi D_i^2}$$

$D_i$  = día interno de la tubería (mm)

## 4. Cálculo de la pérdida de carga $H_w$ (m). Para tubería de acero con costura:

$$H_w = \left( 0.7334 + \frac{0.4827}{\sqrt{C}} \right) \frac{L_T C^2}{D_i}$$

Para tuberías de PVC, polietileno y asbesto cemento.

$$H_w = \left( 0.4893 + \frac{0.8217}{\sqrt{D_i}} + \frac{2.7209}{\sqrt{C D_i}} \right) \frac{L_T C^2}{D_i}$$

$L_T$  = Longitud equivalente de la tubería (m).

Nota: no incluye pérdidas en uniones, válvulas y cambios de dirección, estos datos deben computarse separadamente.

## 5. Cálculo del salto neto aprovechable $H_n$ (m)

$$H_n = H_b - H_w$$

$H_b$  = Salto bruto (m)

## 6. Iterar al punto 2 con el nuevo valor de $H_n$ y así sucesivamente hasta hallar $Q$ con una aproximación determinada.

## 4.4 Verificación del espesor mínimo de la pared de la tubería de presión

$$e_{\min} = 0.001 \frac{D_i H_t}{2 S_d}$$

donde:

- $e_{\text{mín}}$  = Espesor mínimo de la pared del tubo (mm).  
 $D_i$  = Diámetro interno del tubo (mm).  
 $H_t$  = Altura máxima de diseño (m).  
 Equivale al salto bruto ( $H_b$ ) más una tolerancia adicional por golpe de ariete.

Generalmente se determina el margen de sobrepresión por golpe de ariete en función de la velocidad del agua en la tubería, la longitud del tubo, su material y la velocidad de cierre de la válvula máxima prevista, así como la existencia de una chimenea de equilibrio.

A nivel preliminar, empleando tuberías no metálicas es usual considerar un margen de 20% ó 30% por encima del salto bruto ( $H_b$ ).

- $S_d$  = Esfuerzo de diseño a tracción del material del tubo. ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ).

Una vez determinado el espesor mínimo, se compara con el espesor real de la tubería.

Si  $e_{\text{mín}} > e$  descartar la tubería.

Cabe señalar que en el diseño definitivo merecen estudiarse con mayor cuidado algunos esfuerzos localizados, principalmente en los cambios de dirección y uniones.

#### 4.5 Cálculo del peso de la tubería

$$W_T = \frac{\pi \rho_e}{1000} L_T e (D_i + e)$$

donde:

- $W_t$  = Peso total de la tubería (Kg)  
 $\rho_e$  = Densidad del material del tubo  
 $L_T$  = Longitud del tubo (m).

#### 4.6 Selección de diámetro de la tubería

Al margen de la especificación del material del tubo en fun-

ción de los aspectos técnicos y económicos vistos en el punto 4.2 y luego de descontadas las alternativas correspondientes por espesor insuficiente de la pared del tubo, se debe proceder a seleccionar el tubo que determine las mejores condiciones técnico-económicas de un compromiso entre pérdida de carga y valor de la inversión en un tubo de mayor diámetro.

En general la selección económica determina velocidades en el tubo entre 1 y 3 m/s.

Una aproximación al análisis económico estaría dada por el costo anual combinado expresado por:

$$C_a = \frac{V_p \times \frac{i}{100}}{1 - (1 + \frac{i}{100})^{-n}} + V_{\text{kwh}} P_b \times 8760 \times f_c \times \frac{H_w}{H_b}$$

El valor mínimo de  $C_a$  nos permite seleccionar la tubería óptima, donde:

- $V_p$  = Valor presente de la tubería con accesorios igual a Val. Unit. de un tramo x long. de un tramo/ long. total + No. de accesorios x Val. Unit. de accesorios.  
 $i$  = Interés (O/o) anual  
 $n$  = Número de años de amortización  
 $V_{\text{kwh}}$  = Tarifa por kwh  
 $P_b$  = Potencia en los bornes del generador  
 $f_c$  = Factor de carga promedio de la planta.  
 $H_w$  = Pérdida de carga (m)  
 $H_b$  = Salto Bruto (m)

El primer término representa los costos de amortización e intereses del tubo y el segundo el valor de la energía dejada de producir por las pérdidas de carga.

#### 4.7 Selección preliminar de la turbina

El tipo de turbina a ser empleada en cada caso, está determinado por la velocidad específica ( $n_s$  o  $n_q$ ) que corresponde a las condiciones de funcionamiento dadas por la potencia, salto, velocidad (RPM) y eficiencia.

En la Fig. 6 se presenta un nomograma para selección de turbinas en función de sus parámetros principales.

Se tienen dos expresiones de velocidad específica, la primera depende de la eficiencia de la turbina y está dada por:

$$n_s = N \frac{P^{1/2}}{H_N^{5/4}}$$

donde:

P = Potencia neta en CV  
 $H_N$  = Salto neto (mt)  
 N = Velocidad (RPM)

La segunda velocidad específica nos permite establecer criterios de semejanza independientes del rendimiento y está dada por:

$$n_q = N \frac{Q^{1/2}}{H_N^{3/4}}$$

donde:

Q = Caudal en  $m^3/s$

Por otra parte, se puede deducir la siguiente relación entre las dos velocidades específicas:

$$n_s = n_q \sqrt{\frac{1000}{75} n_h}$$

donde:

$n_h$  = Eficiencia hidráulica de la turbina (fracción)

Una forma de selección consiste en la consulta a catálogos de fabricantes de turbinas estandarizadas, que permita seleccionar un tamaño estándar de un tipo de turbina dado, a partir de los datos de salto y caudal y consecuentemente determinar la velocidad de giro correspondiente. Un ejemplo muy ilustrativo de este proceso para el caso de las Turbinas Michell-Banki, aparece en el Documento "Diseño y Estandarización de Turbinas Michell-Banki" por C.A. Hernández.

Una aproximación independiente de una serie estandarizada de turbinas, asumiendo una especificación y diseño *ad-hoc* de la misma, puede realizarse en la siguiente forma:

1. Asumir una velocidad de giro de la turbina (RPM) considerando una velocidad igual o menor a la del generador; en general no conviene exceder 1800 RPM; sobre esta base se define también si la turbina estaría acoplada directamente al generador o existiría una transmisión intermedia. En este segundo caso conviene considerar los ratios de velocidad generador/turbina que permitan un determinado sistema de transmisión; en general para transmisión por fajas o bandas en "V" no conviene tener valores mayores a 3.5 aproximadamente. En transmisiones por engranajes se pueden tomar ratios mayores.
2. Especificar y diseñar en forma preliminar el sistema de transmisión generador/turbina para determinar su viabilidad técnico-económica.
3. Con la velocidad de giro de la turbina determinar sus velocidades específicas.
4. Seleccionar el tipo de turbina del nomograma o del cuadro que se muestra en la Figura 6.
5. Si se quiere profundizar en la selección de la turbina se puede determinar en forma aproximada su principal dimensión dada por el diámetro del rodete.

Para el caso de Turbinas Michell-Banki, el diámetro del rodete está dado por la siguiente ecuación:

$$D_v = \frac{39.85\sqrt{H_n}}{N}$$

donde:

$D_v$  = Diámetro del rodete (m)  
 $H_n$  = Salto neto (m)  
 N = RPM de la turbina  
 y para el caso de Turbinas Pelton

$$D_v = \frac{41.45\sqrt{H_n}}{N}$$

donde:

$D_v$  = Diámetro Pelton (m), o sea dos veces el radio determinado por el eje del chorro tangente al rodete.



Estas fórmulas se derivan de consideraciones técnicas que relacionan la velocidad óptima con el salto neto, para un determinado ángulo de ingreso del chorro y coeficientes experimentales típicos para las pérdidas en el inyector y el rodete.

- Si el diámetro del rodete determinado resulta en una magnitud poco adecuada o si se quieren fijar valores estandarizados para el mismo, se pueden adecuar las fórmulas para determinar la velocidad de giro a partir de un diámetro dado de rodete, debiendo luego volver al paso 3.

En el caso de Turbinas Pelton, cabe señalar que se puede emplear más de una tobera (usualmente hasta un máxi-

mo de seis), en este caso el diámetro del rodete es proporcional a la raíz cuadrada del número de toberas.

TIPO DE TURBINA	$n_s$	$n_q$	$H_{\text{máx. adm.}}$
Pelton de una tobera	10 a 29	3 a 9	1800 a 400
Pelton de dos o más toberas	29 a 59	9 a 18	400 a 350
Michell-Banki	29 a 220	9 a 68	400 a 80
Francis lenta	59 a 124	18 a 38	350 a 150
Francis normal	124 a 220	38 a 68	150 a 80
Francis rápida	220 a 440	68 a 135	80 a 20
Hélice y Kaplan	342 a 980	105 a 300	35 a 5

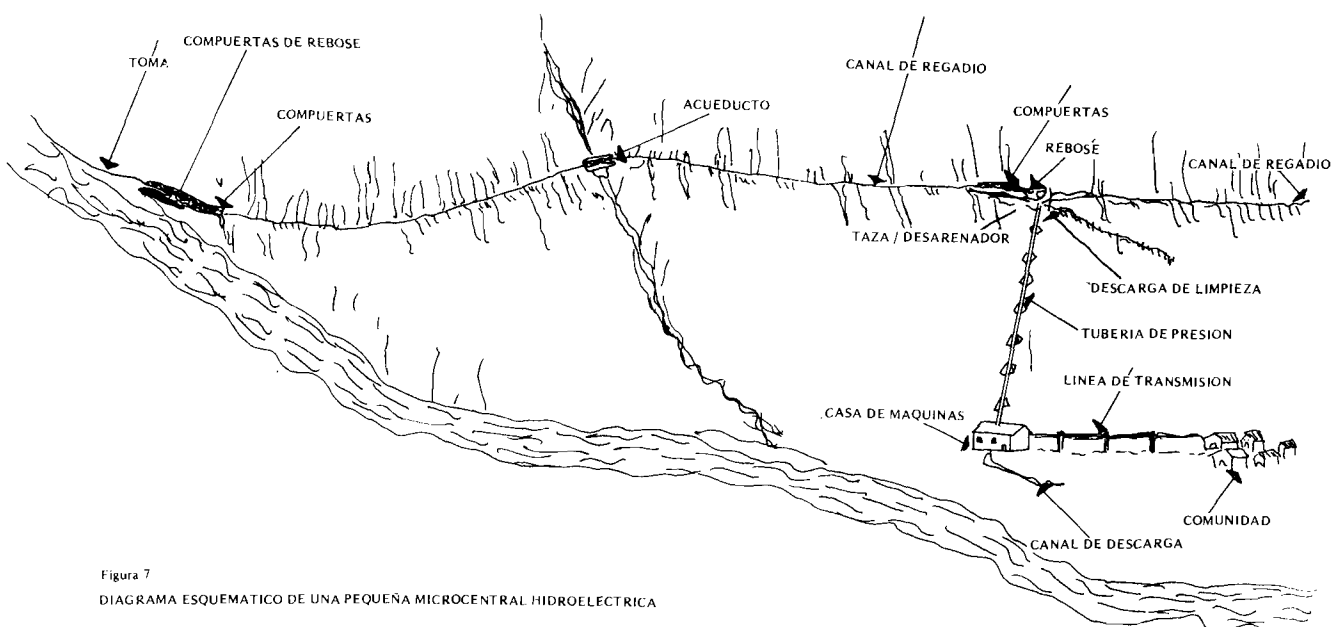


Figura 7  
DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA PEQUEÑA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA

# OLADE INFORMA



Grupo de participantes en la Reunión Internacional de Expertos sobre Carbón realizada por OLADE en julio del presente año.

## REUNION INTERNACIONAL DE EXPERTOS SOBRE CARBON REALIZO OLADE

La reaparición del carbón en el escenario energético mundial, se proyecta también hacia América Latina. El interés por impulsar una agresiva política de exploración geológica y minera del recurso a nivel regional, se concretó en una reunión de expertos sobre el tema realizada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), entre el 31 de junio y el 4 de julio del presente año.

Con una participación que apenas representa el cinco por ciento del consumo energético primario, el desarrollo del carbón en el área se encuentra ligado, hasta ahora, principalmente a los requerimientos siderúrgicos, y una parte mínima, a la generación de energía. Pero esta magra contribución podría aumentar sustancialmente y, al mismo tiempo, convertirse en un sustituto

competitivo frente a la eventual disminución de disponibilidad petrolera.

Estas conclusiones, entre otras, están contenidas en el documento elaborado por los técnicos participantes en representación de Yacimientos Carboníferos Fiscales (YCF), de Argentina; Departamento Nacional de Planeación, de Colombia; Dirección de Geología del Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos de Ecuador; Consejo de Recursos Naturales de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, de México; Empresa Minera del Centro, de Perú, y del Ministerio de Energía y Minas, de Venezuela, con el concurso del Programa de Carbones de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC).

El estudio da asimismo las bases de una metodología de acción regional sobre exploración y explotación del carbón, que con la dirección de OLADE, "sirva de guía a los países" para impulsar fuertemente el uso de este recurso en el abastecimiento de la termo-

electricidad. El método propuesto incluye tanto a los países que carecen de indicios de existencia de carbón como a los que ya han iniciado actividades carboníferas y a los productores.

## NEGRO OLVIDO

Hasta antes de la II Guerra Mundial, el carbón cumplía una función dominante como combustible. A partir de entonces, ha venido perdiendo terreno y, actualmente, sólo abastece el 19 por ciento de la energía consumida en el área occidental. Este "negro olvido" se ha reflejado también en América Latina. Pero después de la crisis energética de 1973 y el agudizamiento de la situación a partir de 1979, los países carboníferos de la región, han vuelto a revalorizar su importancia y a proyectar su consumo en términos significativos para los años venideros.

En general, América Latina se distingue por ser un continente "sin tradición carbonífera". El calificativo es justo, si se considera que sólo siete de sus treinta repúblicas tienen la calidad de productores, incluidos entre los mismos, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Venezuela. Otros seis —Haití, Ecuador, Guatemala, Honduras, Panamá y Bolivia— son clasificados como "países con indicios carboníferos, pero con reservas no cuantificadas", y el resto, simplemente no dispone de información sobre recursos.

## EXPLORACION DE RESERVAS

Las reservas recuperables de carbón de la región representan cerca del dos por ciento de las mundiales, la producción alcanza alrededor del 0.61 por ciento

y las importaciones el 2.5 por ciento, aproximadamente. Pero esta situación según el estudio de la OLADE podría cambiar radicalmente en los próximos años si se propicia un proceso exploratorio de consideración en las áreas carboníferas que se encuentran desconocidas todavía en su mayor parte. Esto, unido a la elevación de los precios de los carbones cotizables en el mercado mundial, aumenta el interés de los países latinoamericanos alrededor de la exploración y explotación de su potencial carbonífero.

La institucionalización del proyecto de OLADE, según el coordinador de Fuentes Convencionales de Energía del Organismo Regional, Dr. Luis Aráuz requerirá fortalecer la coordinación de las actividades con los países interesados con los organismos internacionales que desarrollan acciones en este campo, especialmente, con la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) y el Instituto del Fierro y del Acero (ILAFSA), que tienen programas específicos al respecto.

Señala finalmente que este programa implica no sólo una conciencia de la perspectiva energética a largo plazo, sino también las decisiones políticas que ejecuten los gobiernos para promover la producción y el uso del carbón, así como las actitudes públicas que permitan hacer factibles tales políticas.



#### SE REALIZO I SEMINARIO REGIONAL DE CONTRATOS PETROLEROS.

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) constituirá un sistema de asesoramiento regional para la contratación petrolera de riesgo en exploración y explotación.

La metodología básica de este proyecto fue analizada en el I Seminario Latinoamericano sobre régimen actual en esta materia. El evento, que se efectuó entre el 5 y el 9 de julio, congregó a 50 expertos de los entes petroleros de 15 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, República Dominicana, Surinam y Venezuela.

Considerando la situación de crisis



Vista general de los participantes en el I Seminario Regional sobre Contratos Petroleros.

mundial de energía, y en particular de la región, este seminario concluyó que "es imperativo intensificar los esfuerzos para investigar las cuencas sedimentarias, a fin de conocer las posibilidades hidrocarburíferas de los países.

Al respecto, se estima que América Latina posee más de 12 millones de kilómetros cuadrados de cuencas sedimentarias con potencial hidrocarburífero, incluidas las zonas marítimas de hasta 200 metros. Esto representa el 19 por ciento de la superficie mundial. Sin embargo, sólo un 10 por ciento de las reservas probadas del continente han sido exploradas.

#### REGIMEN CONTRACTUAL

La contratación de riesgo tiene por objeto explorar, desarrollar y explotar los hidrocarburos en los países contratantes. Pero la difícil situación económica por la que atraviesa la mayoría de los países de América Latina, unida a su falta de experiencia y de recursos financieros, dificulta el desarrollo directo de las actividades petroleras. De tal modo, tarde o temprano recurren a la participación de las compañías internacionales mediante la celebración de contratos de riesgo con diferentes denominaciones, modalidades, formas y contenidos. Se calcula que el costo de un pozo exploratorio de petróleo en tierra sobrepasa los 4 millones de dólares, y costa afuera ha llegado a costar hasta 15 millones de dólares.

Dentro de esta situación, los contratos de riesgo según la modalidad

analizada por el Seminario de OLADE, constituyen un instrumento adecuado para propender al desarrollo hidrocarburífero de la región. Lo que se pretende es armonizar los intereses nacionales con los del contratista, mediante la determinación de inversiones mínimas, extensión de las áreas de exploración, términos de devolución de éstas, evaluación del valor comercial del yacimiento y de la producción, así como mantenimiento de los campos petroleros. En cuanto al control técnico y financiero, se trata de que el Estado debe pasar, de la simple vigilancia, a la participación en la toma de decisiones, mediante los sistemas de asociación y formación de comités mixtos.

Otra de las conclusiones del Seminario recomienda que cada país, de conformidad con su legislación petrolera y condiciones particulares, celebre contratos con cláusulas de riesgo conforme a los lineamientos de OLADE. Estos están contenidos en un documento "Términos de Referencia de Contratos de Exploración y Explotación de Hidrocarburos" elaborado por el I Grupo de Trabajo del organismo sobre este tema y que fuera revisado en este Seminario.



#### SE REALIZO SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE ENERGIA Y DESARROLLO

Organizado conjuntamente por OLADE (Organización Latinoamericana de Ener-



gía), ILDIS (Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales) y FLACSO (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales) se realizó en Quito-Ecuador, el I Seminario Internacional sobre Energía y Desarrollo.

En el evento, que se desarrolló entre el 15 y el 18 de julio del presente año, participó más de un centenar de delegados de 15 países de América Latina y el Caribe, de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), de la

Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo (ONUDI), del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de entidades regionales de desarrollo como el Sistema Económico Latinoamericano (SELA), la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) y Asistencia Recíproca Estatal Latinoamericana (ARPEL).

Destacadas personalidades mundiales y expertos en las materias debatidas participaron en distintos paneles destinados a analizar la crisis económica internacional, la estructura del poder mundial y el problema energético. Entre estas personalidades es destacable la presencia de Felipe Herrera, Achim von Haynitz, Hugo Pérez la Salvia, Jorge Sábato, Jaime Corredor, Guillermo Maldonado, Fernando Mendoza, Gustavo Rodríguez, Gonzalo Abad, Luis Correa da Silva, Bosco Muro, entre otros.

Los principales objetivos con los que cumplió el Seminario fueron:

- a) Analizar las características de la llamada crisis energética en el contexto del sistema de relaciones internacionales.
- b) Discutir la problemática energética y sus efectos en los países en desarrollo.
- c) Discutir las posibilidades de un reordenamiento del balance energético en la perspectiva del establecimiento de un programa mundial de energía

y en el marco del Nuevo Orden Económico Internacional.

- d) Analizar las perspectivas de utilización de fuentes energéticas alternativas en el contexto de nuevos estilos de desarrollo.
- e) Nuevas formas de cooperación multilateral entre los países de la región.
- f) Establecer los lineamientos de una política energética latinoamericana con el objeto de mantener un diálogo permanente que viabilice algunas definiciones en el marco de las reuniones internacionales de energía.

El Seminario contó con el auspicio del Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos del Ecuador y de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE).



Entre el 30 de julio y el 1o. de agosto del presente año se efectuó en Quito, Ecuador una reunión de agencias de desarrollo de la región para analizar las perspectivas de cooperación interagencial en el área energética latinoamericana.

A la reunión, convocada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), conjuntamente con PNUMA, CEPAL y ROLA, asisten representantes de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo), OEA (Organización de Estados Americanos), BID (Banco Interamericano de Desarrollo), Banco Mundial, CARICOM (Comunidad del Caribe).

En el acto inaugural de este importante evento intervino el Secretario Ejecutivo de OLADE, Ing. Gustavo Rodrí-



El Secretario Ejecutivo de OLADE, Gustavo Rodríguez Elizarrarás interviene durante el acto inaugural del Seminario sobre Energía y Desarrollo efectuado por OLADE, en Quito, en agosto último. Constan, además el Ministro de Recursos Naturales del Ecuador, Ing. José C. Cárdenas, el Gerente de la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, José Carvajal y el Director de ILDIS, Gonzalo Abad.



guez Elizarrarás, quien destacó como objetivo central de la reunión la determinación de las áreas de cooperación y definición de las modalidades de cooperación interagencial.

“Es urgente necesidad en nuestra región el superar definitivamente la dualidad de esfuerzos, el sectorialismo, que imposibilitando la acción común, coordinada y centrada, atomiza los escasos recursos humanos y financieros disponibles en el área”, manifestó.

Al final de las deliberaciones se concluyó en la impostergable necesidad de establecer las bases de cooperación y coordinación de las acciones que en el área energética despliegan las diversas agencias de desarrollo en la región. Se destacó el papel fundamental de OLADE en este sentido y se encargó a esta Organización la coordinación de los trabajos previos a una segunda reunión, que se realizará a fines de 1980, para analizar las áreas de cooperación.

Se destacó que las conclusiones de esta reunión, serán de mucho valor para los países latinoamericanos en su participación en la Reunión sobre Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, organizada por Naciones Unidas y que se efectuará en Nairobi, Kenya, en agosto del próximo año.



#### SE EFECTUO CURSO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Organizado conjuntamente por OLADE y el Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales para Países de Habla Española (CIFCA) se realizó un curso-seminario sobre las interrelaciones del desarrollo, la energía y los fenómenos del medio ambiente. El evento se llevó a cabo en Managua, Nicaragua, entre el 11 y el 27 de agosto del presente año.

El curso estuvo dirigido a profesionales en el campo de la ecología y del sector energético latinoamericano. El programa incluyó, entre otras materias, Evolución Social, Desarrollo y Energía y Fuentes de Energía nuevas y convencionales, en consideración a su eficien-

cia, procesos productivos y tecnologías apropiadas para el desarrollo energético.

Al curso asistieron participantes de Colombia, Brasil, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, Panamá, Perú, Nicaragua, República Dominicana y México. Las conferencias estuvieron a cargo de catedráticos de instituciones especializadas, tales como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Universidad de Houston, de Estados Unidos, el CIFCA y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).



#### SE REALIZO SEMINARIO LATINOAMERICANO DE AEROGENERACION DE ENERGIA

Organizado por OLADE y con la participación de 28 técnicos de 19 países de América Latina y el Caribe se efectuó el Seminario Latinoamericano de Aerogeneración de Energía. El evento se desarrolló entre el 25 de agosto y el 5 de septiembre en la localidad de Itaipava, Río de Janeiro, Brasil.

Según el Jefe del Programa Regional de Energía Eólica de OLADE, el ingeniero brasileño Luis Augusto da Fonseca, el seminario estimuló un mecanismo de intercambio y consulta entre los países latinoamericanos y caribeños para promover la utilización de aerogenera-

dores para la producción de electricidad. Además, el evento sirvió para difundir las líneas generales de diseño de estos equipos entre aquellos países de menor grado de desarrollo en esta materia.

Expertos de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú expusieron las experiencias de sus respectivos países en esta materia. Paralelamente se efectuó un inventario de la tecnología regional disponible para el aprovechamiento de la energía eólica y se analizó la posibilidad de atender la demanda potencial de las áreas que serían elegidas por su potencial energético eólico dentro del Programa Regional de OLADE en esta materia.

#### USO EOLICO

Dentro de la amplia gama de opciones energéticas a largo y mediano plazo con que cuenta América Latina, la fuerza eólica es una de sus más promisorias fuentes no convencionales de energía. Su aprovechamiento masivo supone un aporte sustancial de varios millones de kilowatios para surtir, fundamentalmente, las necesidades productivas, e incluso domésticas, de la población rural latinoamericana, de cuyos ciento cincuenta millones apenas el 15 por ciento se abastece de suministro.

Definido en términos generales como una masa de aire en movimiento, el viento no es más que una manifestación



Vista parcial de los participantes en el Seminario Latinoamericano de Aerogeneración de Energía. Río de Janeiro, Brasil, 25 de agosto-5 de septiembre de 1980.

indirecta de la energía solar radiante que queda atrapada en el planeta, y se origina por el calentamiento desigual que el sol provoca sobre la superficie terrestre.

Por el gran predominio de las superficies oceánicas sobre el continente, se estima que América Latina presenta condiciones bastante favorables para el aprovechamiento de la energía eólica, especialmente en las zonas costeras de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Perú, Uruguay, Venezuela e Islas del Caribe.

Los países que participaron en este curso-seminario son: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Grenada, Guatemala, Guyana, Jamaica, México, Perú, República Dominicana, Surinam, Uruguay y Venezuela.



### ECUADOR: SE SIENTAN BASES DE COOPERACION EN EL CAMPO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDRO-ELECTRICAS

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) han sentado las bases para una futura cooperación técnica en el campo de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

El convenio que firmarían las dos entidades, como producto de las negociaciones previas mantenidas por funcionarios de las mismas, tiene por objeto promover el desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en Ecuador, apoyando las actividades del Instituto Nacional de Energía del país (INE), en este campo y basándose en los siguientes criterios:

- Simplificar los estudios para reducir los costos de inversión.
- Emplear tecnologías no convencionales para reducir las inversiones requeridas.
- Utilizar maquinaria, equipos y materiales de origen nacional y/o regional.
- Simplificar el diseño y construcción de obras civiles.

- Participación comunal en la ejecución de las obras.
- Participación comunal en la gestión y operación de las plantas.
- Utilización productiva de la energía generada en el medio rural.

La acción que desarrollará OLADE, en base al convenio que suscribiría con INECEL se resumiría en los siguientes puntos:

- Prestar asesoramiento al INECEL en las actividades de planificación y programación del desarrollo de PCH en el Ecuador.
- Asistir técnicamente al INECEL en el diseño y construcción de dos plantas piloto de potencias inferiores a 500 kW.
- Asistir en aspectos de Ingeniería a una contraparte nacional específicamente constituida para la ejecución de las plantas piloto.
- Elaboración de un folleto de orientación para la reubicación de equipamiento de PCH en colaboración con INECEL.
- Asistir al INECEL en la identificación y gestiones para que el INECEL cuente con expertos latinoamericanos que puedan prestar servicios técnicos para la culminación de cuatro proyectos de PCH de potencias comprendidas entre 1000 y 2000 kW.
- Facilitar información al INECEL sobre fabricantes regionales de equipamiento electromecánico.



### OLADE Y CUBA DESARROLLARAN ACCIONES DE COOPERACION EN EL CAMPO DE PCH

Entre el 12 y el 18 de agosto del presente año se realizaron varias sesiones de trabajo en La Habana, Cuba entre el ingeniero Enrique Indacochea, Jefe del Programa Regional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de OLADE y varios funcionarios del Gobierno de Cuba, presididos por el Sr. Ramiro León, Jefe del Departamento de Política Económica del Comité Estatal de Colaboración Económica, y el Ing. Mario Fleites

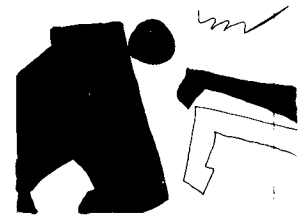
de la Dirección de Relaciones Internacionales del Ministerio de la Industria Básica, a fin de precisar los lineamientos de una futura cooperación OLADE-República de Cuba en el campo de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Como resultado de estas sesiones de trabajo, se precisó que la cooperación de la OLADE a la República de Cuba estaría enmarcada en las siguientes áreas y modalidades:

1. Quedó establecido que es conveniente desarrollar la cooperación entre OLADE y Cuba en el campo PCH, la cual deberá quedar plasmada en un convenio de carácter específico del Convenio General que se prevé suscribir entre el Gobierno de Cuba y la OLADE. (Se precisan los principales aspectos del convenio.)
2. Cuando los Organismos Cubanos competentes consideren conveniente el apoyo técnico de OLADE a través de consultas o visitas aun antes de la suscripción del convenio, lo podrán solicitar a través de la Secretaría Ejecutiva de OLADE.
3. Sobre la base del Convenio General que se prevé entre el Gobierno de Cuba y la OLADE, la Organización elaborará un Proyecto de Convenio específico en materia de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) el cual remitirá al Gobierno de Cuba para su discusión y aprobación.

La propuesta de suscripción del Convenio será realizada por el órgano competente cubano.

4. Se indicó la conveniencia de la participación de Cuba en el I Seminario Latinoamericano sobre PCH que se realizará en Bogotá, Colombia del 3 al 7 de noviembre de 1980, por medio de la designación de un Delegado Oficial, quien presentaría el Informe del País al Seminario.



## OLADE Y EL INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD (ICE) SUSCRIBIRIAN CONVENIO DE COOPERACION TECNICA

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) celebrarían próximamente un convenio de cooperación técnica para la implementación de un conjunto de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, como un proyecto regional orientado a desarrollar metodologías de trabajo adecuadas a la implementación masiva de PCH en América Latina.

El convenio estaría enmarcado en los siguientes criterios:

- Simplificación de los estudios para reducir su costo.
- Empleo de tecnologías no convencionales para reducir las inversiones requeridas.
- Utilización de maquinaria, equipo y materiales de origen nacional y/o regional.
- Simplificación de las obras civiles.
- Participación comunal en la ejecución de las obras.
- Participación comunal en la gestión y operación de las plantas.
- Consideración a la utilización productiva de la energía generada en el medio rural.

Las centrales a construirse formarán parte del Programa Nacional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas para zonas aisladas.



### SE REALIZARA I SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) realizará el I Seminario Latinoamericano sobre Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, en la ciudad colombiana de Girardot, entre el 3 y el 7 de noviembre del presente año.



Los coordinadores nacionales del Programa Regional de Biogas de OLADE, durante sus deliberaciones en Quito, en septiembre pasado.

El evento que se realizará con el auspicio del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica ICCEL, se efectuará contando como base los documentos de tres grupos de trabajo sobre el tema, convocados por OLADE entre agosto de 1979 y junio de 1980.

Este seminario, que contará con la participación de los más destacados expertos internacionales del área, tendrá los siguientes objetivos:

1. Proponer un conjunto de acciones específicas a nivel regional y nacional necesarias para promover la implementación masiva de PCH en latinoamérica, tomando como referencia los documentos de base preparados por los grupos de trabajo de OLADE.
2. Perfeccionar los documentos de base para adecuarlos a una amplia difusión entre instituciones y expertos de la región.
3. Tomar conocimiento del estado de desarrollo y perspectivas de las PCH en los diferentes países de la región, a partir de los informes de los países y ubicarlos en el contexto del panorama regional.
4. Analizar a nivel de mesas redondas un conjunto seleccionado de trabajos técnicos específicos preparados por los delegados.
5. Promover contactos entre instituciones y expertos latinoamericanos vinculados a las PCH como una ac-

ción concreta orientada a fortalecer la cooperación regional en este campo.

Es intención de OLADE publicar y difundir los resultados de los trabajos del Seminario, conjuntamente con los informes de los países y los trabajos técnicos presentados, que reflejarán el grado de avance y perspectivas de desarrollo de las PCH en Latinoamérica.



### OLADE DARA ASISTENCIA TECNICA A ONUDI

El equipo de especialistas en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) terminó la elaboración del manual técnico que con el título "MINICENTRALES HIDROELECTRICAS MANUAL PARA LA TOMA DE DECISIONES", fue entregado a la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI).

La elaboración de este manual constituye una nueva acción de asistencia técnica de OLADE que, eventualmente, sería utilizado por ONU DI en la Reunión sobre Fuentes Nuevas y Renovables de Energía que se efectuará en Nairobi, Kenya, en agosto de 1981, organizada por Naciones Unidas.

Seis países latinoamericanos iniciaron, a partir del quince de septiembre del presente año la construcción simultánea de un total de 18 plantas de gas biológico en áreas rurales de su territorio. Los coordinadores nacionales del Programa Regional de Biogas de la Organización Latinoamericana de Energía en Bolivia, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica y Nicaragua, se reunieron del 5 al 7 de septiembre, en Quito, a fin de ultimar detalles de revisión y ajuste de sus respectivos programas para la ejecución de las obras.

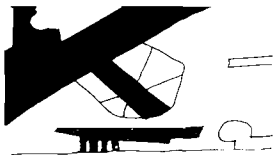
En cada uno de estos países se construirán nueve unidades, bajo la supervisión técnica de personal local entrenado en los tres cursos regionales de capacitación impartidos por OLADE durante el presente año. Las plantas serán del tipo OLADE-GUATEMALA, XOCHICALLI-MEXICO y China, y se instalarán en lugares rurales ya seleccionados.

De acuerdo al Programa Regional de Biogas, que conduce el ingeniero guatemalteco Alfredo Paniagua, se prevé la instalación de un total de 60 unidades de producción de biogas en los seis países mencionados. Actualmente se hallan funcionando y en plena operación dos plantas en Ecuador —país pionero del programa OLADE—, tres en Guatemala, tres en República Dominicana y una en Honduras.

Los coordinadores que asistieron a esta reunión son: Ing. José Elías Rodríguez, del Ministerio de Recursos Naturales de Honduras; Ing. Eduardo Bonilla, del Instituto Nicaragüense de Energía; Ing. Jean Guy Rigaud, del Ministerio de Minas y Energía de Haití; Ing. Edward Charles Alexander, del Ministerio de Energía y Minas de Jamaica; físico Haldane Denis Rogers, del Ministerio de Energía y Recursos Naturales de Guyana e Ing. Carlos Molina, del Ministerio de Energía e Hidrocarburos de Bolivia.

# RESUMEN BIBLIOGRAFICO

1. *Viabilidad de las Microcentrales Hidroeléctricas en Colombia.* Por Oscar Chaquea, Jaime Lobo Guerrero, John A. Burton, Constantino Casabuenas. Fundación Mariano Ospina Pérez. Colombia. Octubre, 1979.  
— Presenta problemas y perspectivas del desarrollo de PCH en Colombia; métodos de cálculo y selección de equipamiento.
2. *Plan de Microcentrales en Colombia.* Por Ing. Mercy Blanco de Monton. Grupo de Trabajo para el Programa "Perspectivas de Desarrollo de PCH en América Latina". Ecuador. Agosto, 1979.  
— Programas y Proyectos iniciales del ICEL para el Desarrollo de PCH en Colombia.
3. *Plan de Microcentrales. Reconocimiento preliminar. Resumen de Costos y Características de los Desarrollos.* Por Tecno Consulta Ltda. Instituto Colombiano de Energía Eléctrica. Colombia. Enero, 1979.  
— Estimación preliminar de esquemas y costos de alternativas estudiadas.
4. *Fuentes de Energía no Convencionales.* Dirección de Planificación Eléctrica. Oficina de Estudios Especiales. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Agosto, 1979.  
— Contiene un capítulo referido a un planteamiento preliminar del desarrollo de PCH en Costa Rica.
5. *Material sobre algunas de las Investigaciones y Desarrollos experimentales en Minicentrales Hidroeléctricas de 5 a 100 kW.* Por Ings. R. Trejos, J. Dewy, E. Doryan. Facultad de Ingeniería Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Enero, 1980.  
— Consideraciones sobre la factibilidad de Microcentrales Hidroeléctricas. Utilización de generadores asíncronos para PCH.
6. *Plan de Implementación de Microcentrales Hidroeléctricas.* Por Ing. L. Galarza, INECEL. Ecuador. Febrero, 1980.  
— Pautas generales para el desarrollo de PCH en el Ecuador.
7. *Metodología del cálculo del Valor Económico de una Planta Hidroeléctrica.* Comisión Federal de Electricidad. México, 1975.



- Métodos prácticos para el cálculo del valor económico de Obras Hidráulicas.
- 8. *Plan Nacional de Electrificación Rural 1979-1982*. Comisión Federal de Electricidad. México, 1979.
  - Programa de Desarrollo de la Electrificación Rural en México, y evaluación de proyectos.
- 9. *Microcentrales*. Por C. T. Advani-Chet du Departament Barrages et Aménagements Hydrauliques-Sogreah Ingénieurs Conseils. Février, 1975.
  - Factibilidad económica de PCH y diversos modelos de desarrollo.
- 10. *Innovation dans la Conception des Microcentrales Sous basses Chutes pour L'Electrification Rurale et/on Interconnexion avec Resean de Distribution Nationale* par C.T. Advani-Sogreah Ingénieurs Conseils. Janvier, 1979.
  - Factibilidad Económica comparada con plantas diesel de misma capacidad; diversos tipos de desarrollo.
- 11. *Manual de Microgeneración Hidráulica*. Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de Fuentes de Energía, Departamento de Fuentes Avanzadas. México. Noviembre, 1979.
  - Métodos simplificados de cálculo y diseño de PCH con acento en tecnologías artesanales.
- 12. *Problemática del Desarrollo de la Tecnología de Microcentrales Hidroeléctricas y su contribución a la electrificación rural*. Por Ing. Enrique Indacochea. Dirección de Tecnología, ITINTEC. Perú. Junio, 1979.
  - Estado de ejecución del proyecto de investigación tecnológica "Microcentrales Hidroeléctricas" y pausas para su desarrollo.
- 13. *Estudio del caso de la Microcentral Hidroeléctrica Piloto de Obrajillo (Perú)*. Por Ing. Enrique Indacochea (ONU-DI). "Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Miny Hydro Electric Generation Units". Nepal. Septiembre, 1979.
  - Aspectos más importantes del diseño y construcción de una Microcentral Hidroeléctrica piloto con tecnología propia.
- 14. *Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas y el Desarrollo Energético Rural del Perú*. Por Ing. Enrique Indacochea, ITINTEC, Perú. Agosto, 1979.
  - Síntesis sobre situación y futuro del desarrollo de PCH.
- 15. *Fuentes de Energía para la Electrificación Rural en el Perú*. VII Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural, ELECTROPERU. Perú. Noviembre, 1979.
  - Aplicación de PCH como Fuentes de Energía no convencionales en las áreas rurales peruanas.
- 16. *El programa de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas en el Perú*. MEM-ELECTROPERU-HIDRAN-DINA. Perú. Abril, 1979.
  - Programa de trabajo de desarrollo de PCH para 1979.
- 17. *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Por Ing. Hernán Bustamante. Primer Simposium Nacional "La Energía y sus Perspectivas". Ministerio de Energía y Minas. Perú. Junio, 1979.
  - Análisis preliminar de la construcción de PCH con tecnología propia.
- 18. *Rural Electrification and the Micro Hydro Power Stations Project*. Por Ing. Enrique Indacochea. Dirección de Tecnología, ITINTEC. Perú. Agosto, 1978.
  - Síntesis del Proyecto de Investigación ejecutado por ITINTEC.
- 19. *The Banki Turbine*. Por C. A. Mockmare and Fred Merryfield-Engineering Experiment Station, Oregon State System of Higher Education, Oregon State College. USA. February, 1949.
  - Diseño Hidráulico y resultado de pruebas de laboratorio de una Turbina Michell-Banki.
- 20. *Desarrollo tecnológico para el Equipamiento de PCH*. Por Ing. Carlos Hernández. Dirección de Tecnología, ITINTEC. Perú. Abril, 1980.
  - Alternativas tecnológicas en proceso de investigación para el equipamiento de PCH.
- 21. *Plan Nacional de Electrificación con Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Primera Aproximación. Informe Final*. Volumen I y II. Consorcio Hidroeléctrico, S. A. Programa de las N. U. para el desarrollo. Ministerio de Energía y Minas. Perú, 1978.
  - Identificación de centros poblados aislados para la implementación PCH y evaluación preliminar de recursos hidroenergéticos en pequeña escala.
- 22. *New Steel for Turbine Runners*. By G. Baggstrom, Water Power. USA. December, 1964.
  - Descripción y selección de materiales para turbinas.
- 23. *Repais Welding of Turbine Runners*. By O. Burgherr, K. Gut and A. Weener. Water Power. USA. September, 1962.
  - Técnica de reparación de elementos de turbinas hidráulicas.
- 24. *Proyecto Mini-Hidroeléctrico San Miguel*. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación. Dirección de Desarrollo, Departamento de Estudios, Panamá. Agosto, 1979.
  - Estudios de la posible sustitución de una planta eléctrica diesel existente por una PCH.
- 25. *Proyecto Mini-Hidroeléctrico San Miguel*. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación. Dirección de Desarrollo, Departamento de Estudios, Panamá. Septiembre, 1979.
  - Comparación económica con planta térmica de igual capacidad (300 kW).
- 26. *Proyecto Mini-Hidroeléctrico Río Sereno*. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Dirección de Desarrollo, Departamento de Estudios, Panamá. Diciembre, 1979.
  - Análisis de beneficio-costos de una planta hidroeléctrica y comparación económica en cuanto a ahorro en combustible, para igual capacidad (500 kW).
- 27. *Panama's Mini-Hydroelectric Plants Program*. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Panamá, 1980.
- 28. *Mini Centrales Hidroeléctricas como Fuentes Alternas de Energía*. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Panamá, 1980.
  - Boletín informativo sobre plantas hidroeléctricas.

29. *Mini Centrales Hidroeléctricas como Fuentes Alternas de Energía*. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Panamá, 1979.
  - Estudio de factibilidad de proyectos para sustituir plantas diesel existentes por PCH.
30. *Guía para la Elaboración de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas destinadas a la Electrificación Rural del Perú*.
  - Manual de Diseño y Proyecto de PCH. Con acento en métodos de diseño hidráulico de Obras Civiles y criterios de selección de equipamiento.
31. *The electrification of Norway over a period of 100 years, in particular the utilization of water power*. By Asbjorn Vinjar. Norwegian Water Resources and Electricity Board, Norway, 1979.
  - Presentación de las experiencias noruegas en el desarrollo de PCH.
32. *Mini-Hydro Power Plants in the Federal Republic of Germany. The development and situation of mini hydro power plants*. By L. Obermeyer, W. Pfortsch supported by W. Bogenrieder. Technische University Berlin. Berlín, 1979.
  - Consideraciones sobre el futuro de las Minicentrales Hidroeléctricas.
33. *National Power Engineering*. Kathmandu, Nepal.
  - Especificación y selección de Turbinas Pelton.
34. *Briefing for the Work Programme*. By Paul Richalet. France. Sep., 1979.
  - Experiencias de trabajo en la producción, transmisión y distribución de electricidad.
35. *Mini-Hydro-Electric Generation in Finland*. By J. G. Wallen. Finland. September, 1979.
  - Desarrollo de las Minicentrales Hidroeléctricas en Finlandia.
36. *Reconocimiento de Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos en la Región Este de la República Dominicana*. Corporación de Presas del Este. Rep. Dominicana. Febrero, 1977.
  - Inventario de las vertientes y saltos para posible aplicación de PCH.
37. *Turbinas Tubulares*. Electrobras. Centrais Elétricas Brasileiras, S. A. Brasil, 1976.
  - Desarrollo tecnológico y utilización de máquinas tubulares en Brasil.
38. *Feasibility Studies for Small Scale Hydropower Additions. A Guide Manual Hydropower Volume III: Hydrologic Studies. Volume V. Electromechanical Features*. The Hydrologic Engineering Center and the Institute for Water Resources. US Army Corps of Engineers. USA. July, 1979.
39. *Case Study of the Planning and Construction of a Mini Hydro Power Plant. A typical example of the development and construction of a Modern Mini Hydro Power Plant in Norway*. Norconsult A. S. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Kathmandu. September, 1979.
  - Reconstrucción de una Minicentral Hidráulica de 1911.
40. *Small Scale Hydro Turbine Program for Head Range 3-30 m and out Range 100-5000 kW*. Bofors, Nohab. Sweden, 1979.
  - Selección de turbinas hidráulicas BOFORS-NOHAB.
41. *Micro Hydropower Development*. By Engineering Consulting firms Association Japan. Seminar workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Kathmandu, Nepal. September, 1979.
42. *Modern Water Turbine Technology for Small Power Stations*. By T. Salovaara. Finland. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Kathmandu, UNIDO. Nepal. September, 1979.
  - Selección y aplicación de Turbinas Hidráulicas.
43. *Una experiencia en programación de Electrificación Rural*. Comité Técnico de Electrificación Rural. Ministerio de Industria y Energía. España, 1979.
  - Metodología General de Planificación.
44. *Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Nicaragua*. Por J. Mairena, Naciones Unidas, Nicaragua. Marzo, 1979.
  - Estudio de cuencas.
45. *Hydrolec. Notice Technique de Regulation. Minicentrale Hydroelectrique Leroy Somer*.
  - Regulador automático de velocidad de una turbina hidráulica.
46. *Some considerations on Mini Hydro generation Units Development and Application*. By J. Limited. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September, 1979.
  - Desarrollo de minicentrales en la India.
47. *The need for and integrated approach in rural electrification in Nepal*. By Peter Molinari. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September, 1979.
  - Aproximación integrada de la electrificación rural en Nepal.
48. *Establishing a programme of micro hydro electric power development for rural electrification in Sierra Leone*. By D. Kamara. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. UNIDO. Nepal. Sep., 1979.
  - Uso de PCH en electrificación rural.
49. *Mini Hydro Power Plants in Sri Lanka*. By A.N.S. Kulasinghe. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
  - Desarrollo de minicentrales en Sri Lanka.
50. *Application de los mini-production d'energie hydroelectrique aux pays en developpment*. Symposium des Nations Unies. Lomé Toyao. Mai, 1979.
  - Las PCH como solución para la electrificación rural.
51. *Group Study tour to the people's Republic of China in the field of medium and small scale Hydro power*

- Plants*. By Deimann. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
- Informe final de la visita.
52. *Rural electrification for the Development of remote areas of Nepal*. By H. Zolluiger. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September, 1979.
    - Uso de PCH en electrificación rural.
  53. *Seminar Report on Development on Small Scale Hydroelectric Power and Fertilizer Production in Nepal*. By the Asia Society (SEADAG-UNIDO) Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September, 1979.
    - Desarrollo de PCH en Nepal y su aplicación para la producción de fertilizantes en pequeña escala.
  54. *The planning and development of minor-sized Hydro-Electric projects*. By ESCAP - UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
    - Descripción de un proyecto de PCH.
  55. *Micro Hydro Station from the social Republic of Romania equipped with Turbines of Romanian Products*. By D. E. Parhor, UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
    - Desarrollo de Minicentrales en Rumania.
  56. *Construction of the water power stations on Beiging-Miyum diversion canal*. By Beiging Design and Exploration Bureau of Water Power. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Generation Units. Nepal. September, 1979.
    - Descripción de ocho caídas y cinco microcentrales del Beiging - Miyum y sus respectivos proyectos.
  57. *Hydroelectric Power Technology in Norway, with special emphasis on small scale power Plants*. By Norwegian Water Resources and Electricity Board Norway. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
    - Conjunto de cinco documentos técnicos para el estudio de PCH.
  58. *Project of Micro Hydro Generation Units in Colombia, South America*. By H. Gamboa. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini-Hidro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
    - Aplicación de PCH en localidades alejadas.
  59. *Development of Equipment for Harnessing Hydropower on a Small Scale*. By U. Meier. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
    - Desarrollo de la turbina más apropiada.
  60. *The role of Hydro Power in Rural Development*. By L. Mackay, B. Yoder. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
    - Factores que afectan el desarrollo de PCH.
  61. *Development and application of Mini Hydro Electric Generation Units in the development countries. India*. By P. K. Belil. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units. Nepal. September 1979.
  62. *An introduction to the development of small hydro-power generation in China*. By Mao Wen Jing. Deng Benig Li. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units.
    - Introducción del desarrollo de Minicentrales en la China.
  63. *Problems encountered in designing and producing small scale water turbines in Nepal*. By R. Metzler. UNIDO. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric generation Units.
    - Experiencias en el diseño, construcción e instalación de turbinas hidráulicas.
  64. *Establishment of Mini/Micro Hydro projects*. By P.K. Behl. UNIDO. Nepal. September, 1979. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units.
    - Experiencias en India.
  65. *Draft Report on the UNIDO/SCAPT/RCTT Joint Meeting*. UNIDO. Nepal. September, 1979. Seminar Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units.
    - Resumen sobre intercambio de información y experiencia.
  66. *Les Microcentrales Hydroelectriques*. Par L. Monition. Comite Consultart Dans le Domaine de la Recherche et le development de l'énergie. France. Mai, 1979.
    - Desarrollo de las PCH.
  67. *Proyecto regional para la implementación de un Conjunto de PCH en Costa Rica*. Programas de Cooperación OPEP/OLADE para el proyecto regional para la implementación de Conjuntos de PCH en Costa Rica.
    - Desarrollo energético rural con PCH como alternativa viable. Documento preliminar sobre un conjunto de proyectos de PCH en Costa Rica.
  68. *Water Power & Dam Construction*. January 1979.
    - Estudio sobre avances en la tecnología y análisis económico de PCH.
  69. *Swedish Development of Mini Hydro Electric Generation Units*. Swedish Capabilities assistance. Sixten Englesson.
    - Tipos de turbina.

70. *Plan Nacional de PCH*. Ministerio de Energía y Minas. Perú. Julio, 1980.  
 — Programa, Objetivos y Organización.
71. *Fuentes de información sobre Energía no Convencionales*. Ma. T. Ramírez de Díaz - Fundación Mariano Ospina Pérez. Colombia. Marzo, 1980.  
 — Identificación detallada, preliminar de instituciones colombianas que se ocupan de la energía no convencional. Presenta indicaciones para el campo de PCH.
72. *Electrificación Rural con PCH*. Por E. Indacochea. ITINTEC. Perú. Noviembre 1979.  
 — Estudio preliminar para la implementación de PCH.
73. *Servicio Referencias. Operación de Plantas Hidroeléctricas*. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). México. Marzo, 1980.  
 — Descripción de algunos trabajos.
74. *Servicio Referencias. Construcción de Plantas Hidroeléctricas*. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). México. Marzo, 1980.  
 — Descripción de algunos trabajos.
75. *Situación y Perspectivas de la Tecnología y Equipamiento para PCH en Latinoamérica*. Por R. Trejos, F. Cuenca, C. Hernández, E. Indacochea. Programa Regional de PCH de OLADE. Ecuador. Abril, 1980.  
 — Análisis y perspectivas del desarrollo tecnológico, la transferencia de tecnología y el abastecimiento de equipos y materiales.
76. *Requerimientos y Metodologías para la implementación masiva de PCH en Latinoamérica*. Por E. Indacochea, O. Chaquea, L. Machado, R. Vargas, M. Fleites, E. Enríquez, F. Ferrán, L. Haro, S. Mancilla. Programa Regional de PCH de OLADE. Ecuador. Junio, 1980.
77. *El desarrollo de PCH en Latinoamérica*. Por Grupo de Trabajo para definir el Programa Regional de PCH de OLADE. Ecuador. Agosto, 1979.