

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA



"GENERALIDADES SOBRE MINIHIDROELECTRICAS, ELEMENTO  
A CONSIDERAR EN LA PRODUCCION ENERGETICA FUTURA  
EN GUATEMALA"

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

VICTOR HUGO BARRIOS ORTEGA  
AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1985

TESIS DE REFERENCIA  
NO  
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA CENTRAL - U.S.A.C.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

ADVERTISING  
SPECIALS  
OFFERINGS

R  
08  
T(1867)



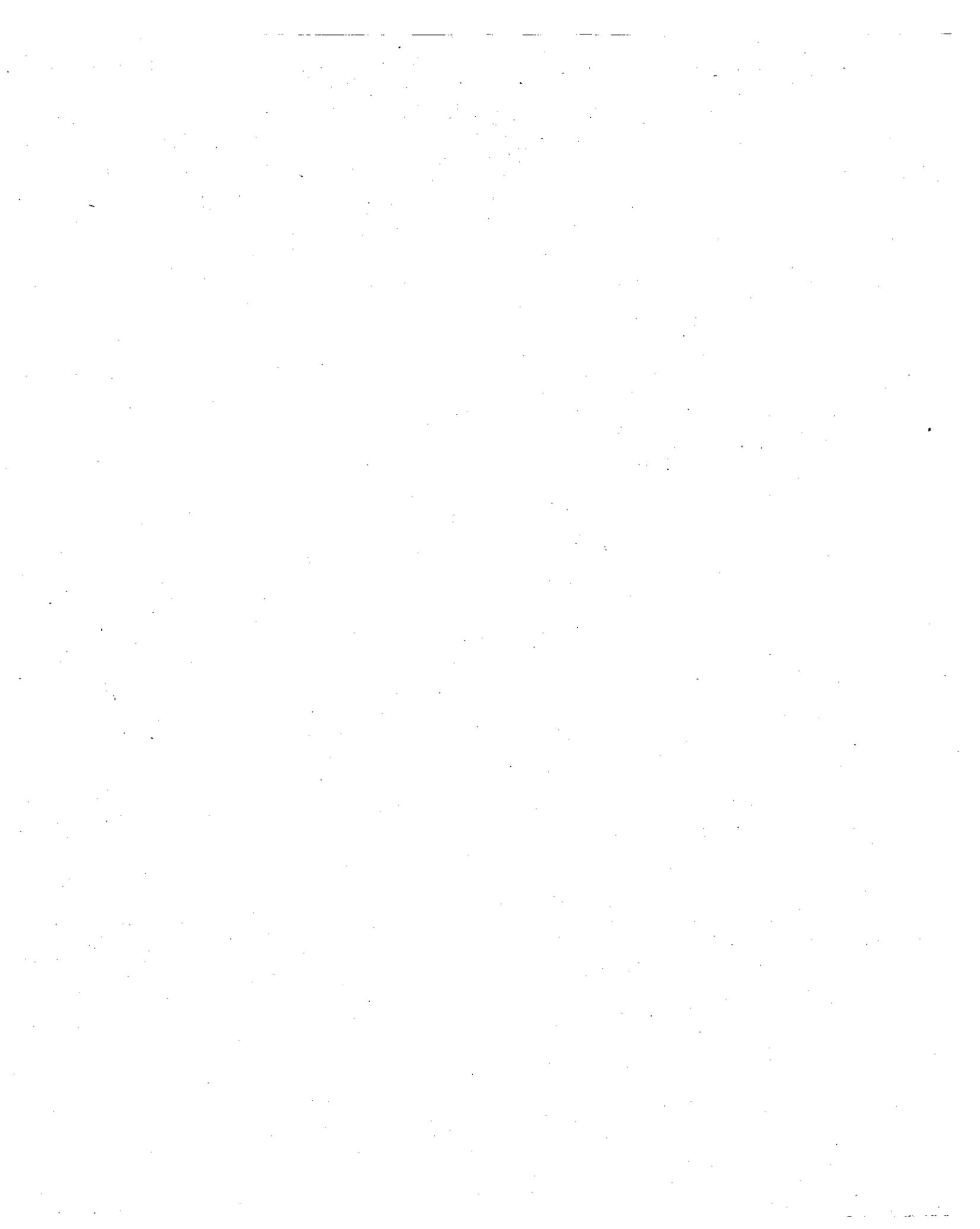
JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD  
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano	Ing. Roberto Mayorga Rouge
Vocal Primero	
Vocal Segundo	Ing. Herbert Miranda
Vocal tercero	Ing. Pedro Aguilar P.
Vocal Cuarto	Br. Abel García
Vocal Quinto	Br. Carlos Farfán
Secretario	Ing. René Andrino

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Cesar Fernández
Examinador	Ing. Reynold Walter
Examinador	Ing. Carlos Marroquín Ziesse
Examinador	Ing. José Monge H.
Secretario	Ing. Manuel Castellanos



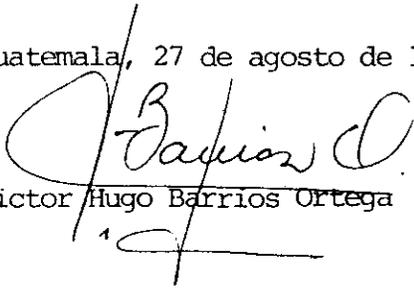
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

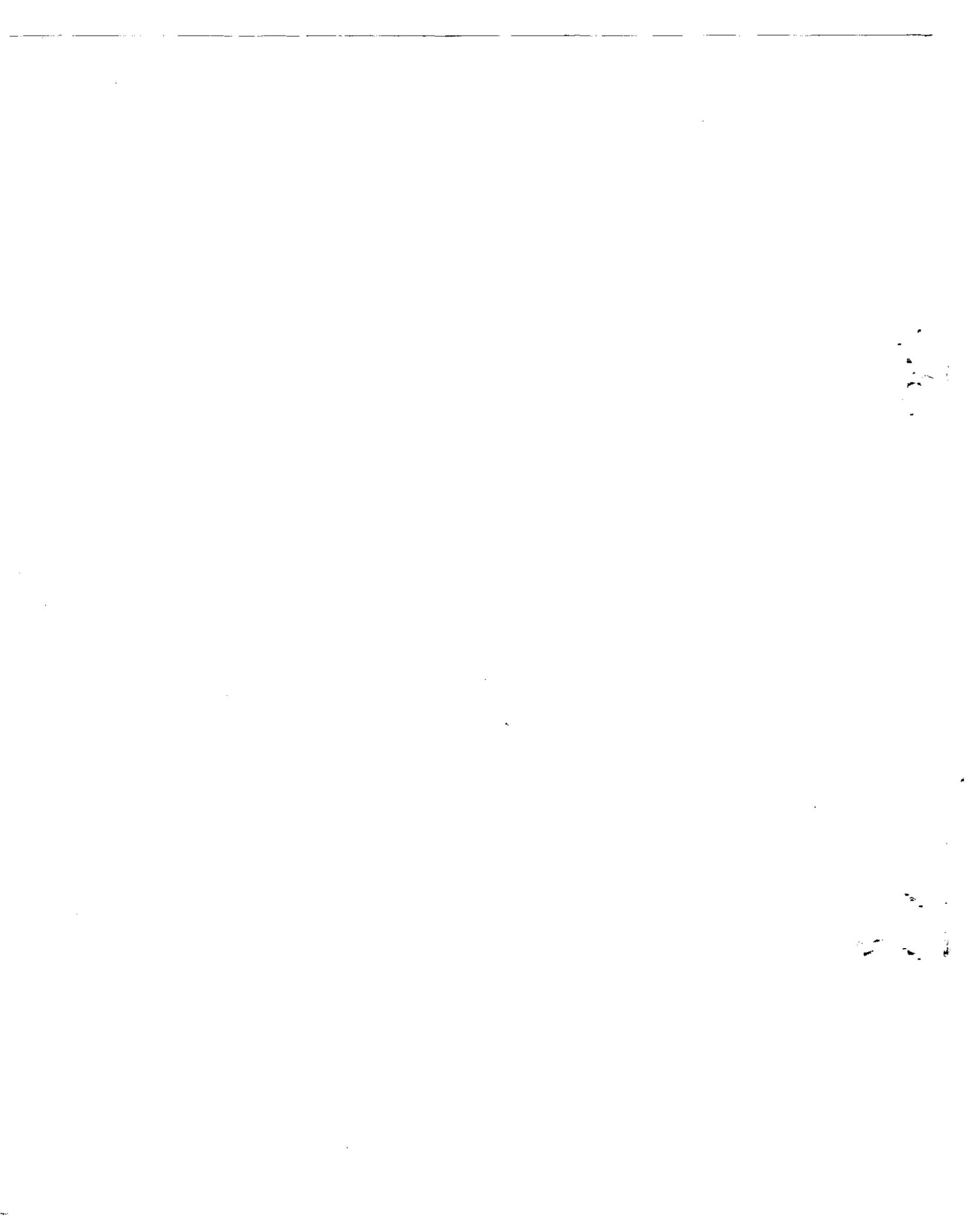
Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento para su consideración mi trabajo de tesis, titulado:

"GENERALIDADES SOBRE MINIHIDROELECTRICAS, ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA PRODUCCION ENERGETICA FUTURA EN GUATEMALA."

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de abril de 1984.

Guatemala, 27 de agosto de 1985

  
Victor Hugo Barrios Ortega



Guatemala, 6 de septiembre de 1985

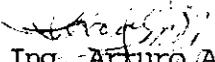
Ing. Hugo Quan Ma  
Jefe del Departamento de Planeamiento  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Quan:

De la manera más atenta me es grato dirigirme a usted para informarle que he tenido la oportunidad de asesorar y revisar el trabajo de tesis titulado: "GENERALIDADES SOBRE MINIHIDRO-ELECTRICAS, ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA PRODUCCION ENERGETICA FUTURA EN GUATEMALA", elaborado por el Ingeniero Infieri Victor Hugo Barrios Ortega.

Habiendo encontrado satisfactorio el trabajo desarrollado por el señor Barrios Ortega y en virtud de que dicha tesis cumple con las normas y disposiciones de la Facultad de Ingeniería, por este medio me permito aprobarlo, así como recomendar que se autorice su impresión.

Atentamente,

  
Ing. Arturo Acajabón M.  
ASESOR





FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, Septiembre de 1985.

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

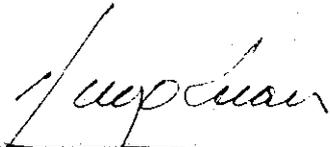
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Ing. Rafael Bolaños E.  
Director Escuela Ing. Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Ingeniero Bolaños:

Con base en el dictamen dado por el señor  
Ing. Arturo Acajabón M., quien fuera designado Asesor de  
este trabajo, me permito dar mi aprobación favorable a la  
Tesis denominada "GENERALIDADES SOBRE MINIHIDROELECTRICAS,  
ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA PRODUCCION ENERGETICA FUTURA  
EN GUATEMALA", que para su examen General Público presenta-  
rá el Estudiante Victor Hugo Barrios Ortega.

Atentamente,

  
ING. HUGO QUIÑAN  
JEFE DEL DEPTO. PLANEAMIENTO





## FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

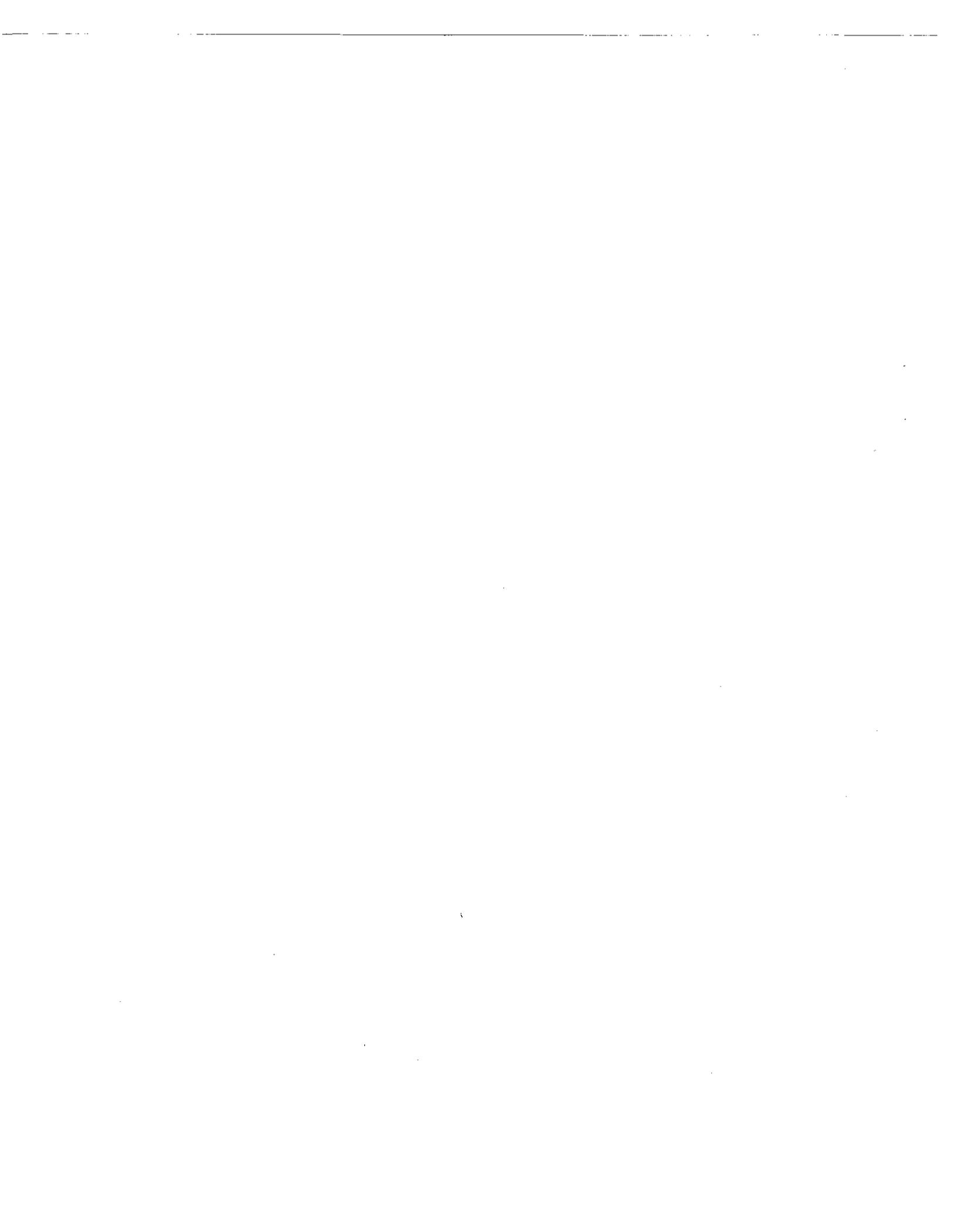
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Arturo Acajabón M. y del Jefe del Departamento de Planeamiento Ing. Hugo Quan Ma al trabajo de tesis del estudiante Victor Hugo Barrios Ortega titulado GENERALIDADES SOBRE MINIHIDROELECTRICAS, ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA PRODUCCION ENERGETICA FUTURA EN GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicha tesis. El autor de esta tesis y su Asesor son responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

  
Ing. Rafael Angel Bolaños E.

Guatemala, 18 de septiembre de 1,985

RABE/bebz.





## FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Rafael Angel Bolaños Escobar, al trabajo de tesis GENERALIDADES SOBRE MINIHIDROELECTRICAS, ELEMENTO A CONSIDERAR EN LA PRODUCCION ENERGETICA FUTURA EN GUATEMALA, del estudiante Víctor Hugo Barrios Ortega, procede a la autorización para la impresión de la misma. El autor de esta tesis y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Roberto Mayorga R.  
DECANO

Guatemala, 18 de septiembre de 1,985

bebz.





ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES:                   Mario Barrios Peña  
                                  Ilusión Ortega de Barrios

MI ESPOSA                    Ligia María Figueroa de Barrios

MIS HERMANOS:                Mario Gilberto Barrios Ortega  
                                  Julio René Barrios Ortega  
                                  Maritza Grecco de Barrios  
                                  José Miguel Barrios Ortega  
                                  Carlos Roberto Barrios Ortega  
                                  Ricardo Francisco Barrios Ortega  
                                  Cecilia Ilusión Barrios Ortega

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.



DEDICO ESTA TESIS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los estudiantes y profesionales de la ingeniería de Guatemala, así como a todas aquellas personas y entidades que de alguna forma tienen relación o se interesan en asuntos de producción energética.



AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al Ingeniero ARTURO ACAJABON

Por sus valiosos consejos y asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

Al Ingeniero MARTIN LOMMATZSCH

Por el inapreciable apoyo brindado.



## C O N T E N I D O

	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PERSPECTIVA DEL DESARROLLO DE MINIHIDROELECTRICAS EN GUATEMALA.	8
3.1 El sistema nacional de generación	8
3.2 Demanda nacional de energía y potencia	13
3.3 Recursos hidroenergéticos, una alternativa	16
3.4 Otros recursos	18
4. SITUACION ACTUAL DE LOS DISTINTOS SECTORES BENEFI- CIARIOS DE LA PRODUCCION ENERGETICA.	50
4.1 El servicio residencial	51
4.2 El servicio industrial	54
4.3 El servicio comercial	55
4.4 Servicios municipal, de Gobierno y alumbrado público.	56
5. CARACTERISTICAS DE LAS MINIHIDROELECTRICAS.	63
5.1 Turbinas (equipo hidráulico)	65
5.2 Equipo electromecánico	75
5.3 Sistema de transmisión	79
5.4 Criterios para la selección del equipo	81
5.5 Obra civil	86
5.5.1 Presa o Cortina	86
5.5.2 Obras de toma	86
5.5.3 Desarenador	87
5.5.4 Cámara de Carga	88
5.5.5 Compuertas	88



5.5.6	Tubería de Presión	89
5.5.7	Válvulas	91
5.5.8	Casa de Máquinas	92
5.5.9	Canal de Desagüe	92
5.6	Recomendaciones para el equipo	92
5.7	Recomendaciones para la Obra Civil	93
6.	INGENIERIA DEL PROYECTO	109
6.1	Operación y Producción de Energía	110
6.2	Estudios Hidrológicos	115
6.3	Estudios Topográficos	117
6.4	Estudios para la inversión	119
6.5	Financiamiento de Proyecto	128
7.	COSTOS	136
7.1	Costos unitarios de una Minihidroeléctrica	136
7.2	Costos unitarios de estudios de preinversión	139
7.3	Costos unitarios del equipo electromecánico	139
7.4	Costos unitarios de la Obra Civil	141
8.	CONCLUSIONES	150
9.	RECOMENDACIONES	152
10.	REFERENCIAS	154



## LISTA DE FIGURAS

		PAGINA
-	Fig. 3.1 Zonificación del suministro de energía eléctrica en Guatemala.	28
-	Fig. 3.2 Usuarios residenciales del sistema eléctrico Nacional (SEN).	29
-	Fig. 3.3 Producto geográfico bruto global en 10 <sup>6</sup> quetzales.	30
-	Fig. 3.4 Generación bruta en GWH.	31
-	Fig. 3.5 Máxima demanda en MW.	32
-	Fig. 3.6 Densidad de carga proyectada 1980.	33
-	Fig. 3.7 Densidad de carga proyectada 1990.	34
-	Fig. 3.8 Densidad de carga proyectada 2000.	35
-	Fig. 3.9 Mapa de cuencas hidráulicas de la República de Guatemala.	36
-	Fig. 3.10 Localización general de proyectos por zonas, pequeñas centrales hidroeléctricas.	37
-	Fig. 3.11 Proyecto Machaquilá I (Petén)	38
-	Fig. 4.1 Prototipo de estufa eléctrica para el medio rural.	58
-	Fig. 5.1 Esquema de una minihidroeléctrica de agua corriente.	95



- Fig. 5.2	Esquema de una minihidroeléctrica de agua embalsada.	95
- Fig. 5.3	Aprovechamiento de la potencia hidráulica por medio de minihidroeléctricas en serie.	96
- Fig. 5.4	Esquema de una minihidroeléctrica con canal de derivación.	97
- Fig. 5.5	Esquema de una minihidroeléctrica con galería de presión.	97
- Fig. 5.6	Configuración de una turbina tipo Bulbo.	98
- Fig. 5.7	Configuración de una turbina tubular.	99
- Fig. 5.8	Configuración de una turbina de flujo transversal y gráfica de eficiencia de la misma.	100
- Fig. 5.9	Tipos de rodetes de turbinas y sus diferentes velocidades específicas.	100
- Fig. 5.10	Gráfica para la selección de turbinas a partir de su velocidad específica.	101
- Fig. 5.11	Gráfica de eficiencia a carga parcial de turbinas hidráulicas.	102
- Fig. 5.12	Rango de aplicación para las turbinas en minihidroeléctricas.	103
- Fig. 5.13	Diagrama de flujo para la selección de equipo para minihidroeléctricas.	104



	PAGINA
- Fig. 5.14 Algunos tipos de presas.	105
- Fig. 5.15 Diferentes secciones para rejillas y su coeficiente de fricción.	106
- Fig. 5.16 Rango de aplicación de diferentes materiales para tubería en relación con el salto.	90
- Fig. 6.1 Curva de potencia y caudal diario.	134
- Fig. 6.2 Carga eléctrica del sistema.	134
- Fig. 6.3 Curva tipo de consumo industrial.	135
- Fig. 6.4 Curva de consumo de una zona residencial.	135
- Fig. 6.5 Curvas de carga cronológica.	135
- Fig. 7.1 Costos unitarios de inversión en minihidroeléctricas.	144
- Fig. 7.2 Índice de aumento del costo de los bienes.	145
- Fig. 7.3 Porcentaje máximo del costo total correspondiente a los estudios.	146
- Fig. 7.4 Costo por KW instalado del equipamiento electromecánico importado.	147
- Fig. 7.5 Costo por KW instalado del equipamiento electromecánico con tecnología y fabricación nacional.	148
- Fig. 7.6 Costos por KW instalado de las obras civiles para minihidroeléctricas.	149



## LISTA DE TABLAS

		PAGINA
-	Tabla 3.A Capacidad instalada en plantas del INDE y EEGSA.	39
-	Tabla 3.B Resumen de capacidad en KW.	40
-	Tabla 3.C Plantas hidroeléctricas existentes (SNI).	41
-	Tabla 3.D Plantas termoeléctricas existentes (SNI), producción máxima anual.	42
-	Tabla 3.E Capacidad instalada en plantas propiedad municipal y privadas (servicio público).	43
-	Tabla 3.F Plan preliminar de reparación y retiro de plantas termoeléctricas existentes.	44
-	Tabla 3.G Desarrollo histórico de factor de carga.	45
-	Tabla 3.H Demanda de potencia y energía eléctrica (INDE + EEGSA).	46
-	Tabla 3.I Algunos fabricantes de equipo en Guatemala.	47
-	Tabla 3.J Potencial Hidroeléctrico, en MW.	48
-	Tabla 3.K Potencial hidroeléctrico, energía media.	49
-	Tabla 4.A Resumen de ventas de energía del INDE por sistema según forma de venta y sector de consumo.	59



	PAGINA
- Tabla 4.B Resumen anual de ventas al detalle por sector de consumo.	60
- Tabla 4.C Incidencia de gastos de combustible y energía eléctrica en los costos de la vida en Guatemala.	61
- Tabla 4.E Incidencia de la energía eléctrica en algunos costos de producción en Guatemala.	62
- Tabla 4.F Incidencia de los combustibles en algunos costos de producción en Guatemala.	62
- Tabla 5.A Rango de aplicación de turbinas hidráulicas.	107
- Tabla 5.B Selección de turbinas según sus velocidades específicas.	108



## 1. INTRODUCCION

En la actualidad Guatemala atraviesa por una seria crisis en la producción energética, pues la fuerte erogación de divisas que significa el consumo de los derivados del petróleo, repercute negativamente en la economía nacional, además de mantener una situación de dependencia del extranjero.

Al mismo tiempo la tala immoderada de los bosques en procura de leña para satisfacer necesidades energéticas, incrementa la deforestación en perjuicio de la ecología.

Es importante tratar de encontrar formas de producir la energía necesaria para las áreas aún no cubiertas, así como para satisfacer la demanda general que lejos de detenerse se incrementa constantemente.

Se debe impulsar el desarrollo en general, principalmente del medio rural. Como se mencionó antes; existen crecientes dificultades asociadas con el suministro y costo del petróleo y sus derivados; es necesario movilizar recursos y potenciales disponibles para dotar de adecuadas cantidades de energía que contribuyan a elevar la productividad y generar mejores condiciones de vida de la población.

En nuestro medio existen recursos hidroenergéticos aprovechables en buena cantidad, principalmente explotables por las clasificadas en el presente trabajo como Minihidroeléctricas, constituyendo una fuente de energía no convencional y renovable más fácilmente accesible, considerando que utiliza tecnología probada que en muchos casos requiere únicamente adaptación para reducir las inversiones necesarias y principalmente acciones a nivel de Gobierno que promuevan su implementación.

Por lo mencionado anteriormente y por la importancia que reviste para el país, el presente trabajo de tesis persigue, además de situar a las Minihidroeléctricas en el marco actual de producción/demanda de energía, como un elemento que se debe considerar como posible paliativo a los problemas energéticos de los diferentes niveles de consumo. Además contiene información general sobre los distintos elementos que las componen, tanto de obra civil como del equipo necesario, proporcionando algunos criterios para la toma de decisiones preliminares a nivel de ingeniería del proyecto.

Aunque ésta no es una tecnología precisamente nueva en nuestro medio pues se tiene conocimiento de la instalación de Minihidroeléctricas desde finales del siglo pasado en la elaboración del presente trabajo se tropezó con falta de información del desarrollo de la misma a nivel nacional.

El presente trabajo está dirigido principalmente a los estudiantes y profesionales de la Ingeniería de Guatemala y a todas aquellas personas que por propia iniciativa tienen interés o están involucrados de alguna forma en asuntos de producción energética

## 2. ANTECEDENTES

A continuación se presenta una breve reseña histórica de la electrificación en Guatemala. El lector podrá notar que la tecnología de las minihidroeléctricas realmente no es desconocida en nuestro medio, comienza con las primeras unidades de tipo privado que se instalaron en el último cuarto del siglo pasado, principalmente por inmigrantes alemanes en la parte norcentral del país. Hoy en día es grande la cantidad de minihidroeléctricas de tipo privado que funcionan en fincas, muchas de las cuales cuentan con un largo período de servicio.

### 2.1 Desarrollo de la Electrificación

En 1896 se constituyó la Empresa Eléctrica del Sur, organizada por empresarios alemanes que construyeron la hidroeléctrica de Palín con 732 KW; pero posteriormente a la primera guerra mundial, las instalaciones pasaron a propiedad de la Electric Bond and Share que se constituyó en propietaria de la Empresa Eléctrica de Guatemala durante más de 60 años.

Hasta el año de 1936, la electrificación nacional la hacían en forma aislada las municipalidades y los particulares que regulaban el suministro de este servicio público según su propia iniciativa y conveniencia.

La primera intervención notable del gobierno central en el campo de la electrificación, sucedió en 1936 al extenderse el suministro de la Hidroeléctrica de Santa María a Quetzaltenango y otros municipios del occidente guatemalteco.

La hidroeléctrica de Santa María construída en 1927, era una central que suministraba energía al denominado Ferrocarril de los Altos, pero en 1936 al fracasar el mismo, su planta se destinó al servicio eléctrico público.

Durante el período 1936 a 1959, este último, año de creación del INDE, las líneas de Transmisión de la hidroeléctrica Santa María de propiedad del Estado, se extendían a 24 poblaciones entre ellas Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Mazatenango, Retalhuleu y Coatepeque, para citar sólo a los más importantes.

En 1940 fue creado el Departamento de Electrificación Nacional dependiente del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, el cual emprendió en 1955 la construcción de la Central Hidroeléctrica de Río Hondo de 2400 KW, la cual entró en operación en 1960. Inicialmente, esta planta suministraba la energía sólo a la ciudad de Zacapa. En el año de 1963 pasó a propiedad del INDE, suministrando posteriormente energía a 33 poblaciones de la zona oriental.

El Instituto Nacional de Electrificación empezó a funcionar en el año de 1961, con un patrimonio otorgado por el Estado, que incluía las plantas hidroeléctricas Santa María y Río Hondo con un total de 8.3 MW. El INDE comenzó prestando servicio eléctrico a algunas poblaciones de la región occidental y oriental del país.

En 1967, el sistema Hidroeléctrico Michatoya de la EEGSA, constituido por las plantas Palín, San Luis y el Salto, pasó a propiedad del INDE.

En 1969 se realizó la interconexión de la región oriental con la región central; en 1972, al finalizar el período de concesión, el estado compró el 92% de las acciones de la EEGSA, con lo que pasó a ser propiedad nacional

## 2.2 Descripción de las principales plantas hidroeléctricas del país:

A continuación se presenta una breve descripción de las principales plantas hidroeléctricas generadoras del país; en donde se puede observar la importancia que tiene la generación hidráulica en Guatemala. La

tendencia es reducir al mínimo la dependencia de la generación térmica, pues ésta conlleva elevados costos, dependencia del extranjero, problemas ecológicos, etc.

Se toca únicamente el campo hidráulico, por ser éste realmente el marco al que pertenecen las minihidroeléctricas, tema central del presente trabajo de tesis.

El proceso de producción de Energía Eléctrica de este origen lo realiza el INDE a través de 11 plantas (incluyendo Chixoy), teniendo una capacidad instalada de aproximadamente 408000KW, que generaron durante el año de 1983, aproximadamente 808000 MWh, representando el 71% del total de la producción.

Además existen 28 minihidroeléctricas actualmente en operación, tanto municipales como privadas de servicio público, que tienen una capacidad instalada de 4495 KW, de las cuales también hacemos mención.

Escapan de nuestro alcance una gran cantidad de minihidroeléctricas de tipo privado para el consumo de ingenios, lecherías, industrias, riego de plantaciones, beneficios, uso doméstico, etc. y que actualmente se encuentran en operación por todo el país, contribuyendo al desarrollo nacional.

#### 2.2.a Plantas del Sistema Central del INDE

##### - Hidroeléctrica de Palín:

Instalada en el departamento de Escuintla en 1896 con 732 KW y ampliada en 1927, actualmente con capacidad instalada confiable de 1000 KW; cuenta con 3 turbinas.

- Hidroeléctrica San Luis:

Instalada en el departamento de Escuintla en 1927, cuenta con 2 turbinas y una capacidad instalada confiable de 500 KW.

- Hidroeléctrica El Salto:

Instalada en el departamento de Escuintla en 1954 con 2 turbinas y una capacidad instalada confiable de 5500 KW.

- Hidroeléctrica Jurún Marinalá:

Instalada en el municipio de Palín, departamento de Escuintla, puesta en operación en 1970, cuenta con 3 turbinas y una capacidad de 60000 KW.

- Hidroeléctrica Aguacapa:

Instalada en la confluencia de los ríos Agua Caliente y Aguacapa, entre los departamentos de Sta. Rosa y Escuintla, puesta en operación en 1982, cuenta con 3 turbinas y una capacidad instalada confiable de 60000 KW.

- Hidroeléctrica Los Esclavos:

Instalada en el municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa, puesta en operación en 1966, cuenta con 2 turbinas y una capacidad instalada confiable de 13000 KW.

2.2b Plantas Sistema Oriental:

- Hidroeléctrica Río Hondo:

Instalada en el departamento de Zacapa, puesta en operación en

1962, cuenta con 2 turbinas y una capacidad instalada confiable de 2400 KW.

2.2.c Plantas Sistema Nor-Oriental;

- Hidroeléctrica Chicaic:

Instalada en la finca del mismo nombre, en el municipio de Cobán, Departamento de Alta Verapaz, cuenta con 2 turbinas y una capacidad instalada confiable de 600 KW.

- Hidroeléctrica Chixoy:

Situada en Quixal, Municipio de San Cristóbal Verapaz, Departamento de Alta Verapaz, cuenta con 5 unidades generadoras con una capacidad instalada de 300000 KW; realizó operaciones de prueba de Junio a Noviembre de 1983, actualmente se encuentra detenida por reparaciones de los desperfectos sufridos en el túnel de aducción, el cual tiene una longitud de 26 Kms., está programada a entrar en operación en su fase de pruebas en el último trimestre de 1985. Los pocos meses que generó energía el consumo de combustible se redujo ostensiblemente por lo que representa una esperanza a corto plazo para la economía nacional.

2.2.d Plantas Sistema Occidental

- Hidroeléctrica Santa María:

Ubicada en el río Samalá, municipio de Zunil del departamento de Quetzaltenango, entró en operación en 1936, se le hicieron mejoras en 1966. Cuenta con 3 turbinas y una capacidad instalada confiable de 6000 KW.

2.2.e Capacidad instalada en Plantas propiedad municipal y privada de servicio público  
Ver Tabla 3.E.

### 3. PERSPECTIVAS DEL DESARROLLO DE LAS MINIHIDROELECTRICAS

#### EN GUATEMALA:

Este capítulo tiene la intención de enmarcar a las minihidroeléctricas en el esquema actual de Generación - Demanda, como una potencial respuesta a las necesidades del país, aprovechando los recursos naturales renovables.

Además se consideran las perspectivas de los mismos y se hace una descripción comparativa de ellos.

#### 3.1 El Sistema Nacional de Generación:

Actualmente en Guatemala la energía es generada por plantas hidroeléctricas y termoeléctricas; existiendo proyectos geotérmicos, así como hidroeléctricos y térmicos entre otros.

En nuestro país el Instituto Nacional de Electrificación INDE, es la institución estatal encargada de la generación de la energía eléctrica.

A continuación se hace una breve descripción del proceso que se sigue en Guatemala para la generación de la energía:

##### 3.1.1 Zonificación Actual del Suministro de Energía:

Para facilitar la administración de la generación y suministro de la energía, el INDE tiene dividido al país en 6 sistemas o zonas; Ver Figura No. 3.1.

- a. Sistema Central: Es servido por la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA), que comprende los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y la mayor parte del departamento de Escuintla.

- b. Sistema Occidental: Cubre a los departamentos de Suchitepéquez, Quetzaltenango, Sololá, Totonicapán, San Marcos, Chimaltenango y algunos municipios al Sur del Quiché.
- c. Sistema Oriental: Cubre los departamentos de El Progreso, Jalapa, Santa Rosa, Jutiapa, Chiquimula y Zacapa.
- d. Sistema NorOccidental: Comprende el departamento de Huehuetenango y varios municipios al Norte del Departamento de El Quiché.
- e. Sistema NorOriental: Comprende los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz y el municipio de El Estor del departamento de Izabal.
- f. Sistema Atlántico: Comprende todo el departamento de Izabal exceptuando al municipio de El Estor.
- g. Sistema del Petén: Cubre al departamento del mismo nombre.

### 3.1.2 Los Sistemas de Generación de Guatemala:

Más de 800 poblaciones están cubiertas en toda la República, de las cuales 796 pertenecen al Sistema Nacional Interconectado y el resto son de los departamentos del Petén, Izabal y NorOriente de Alta Verapaz que funcionan como sistemas aislados.

A continuación una descripción de los distintos sistemas de Generación existentes.

#### 3.1.2.1 El Sistema Nacional Interconectado: (SNI)

Es la conexión por medio de líneas eléctricas de los sistemas de generación, permitiendo la transmisión de energía en cualquier sentido; es un trabajo que realizan en conjunto el Instituto Nacional de

## Electrificación y la Empresa Eléctrica.

El Sistema Nacional Interconectado está compuesto por plantas Generadoras, Subestaciones, Líneas de Transmisión y Redes de Distribución propiedad del INDE y la EEGSA.

Su capacidad instalada al año 1985 es la siguiente:

	HIDROELECTRICA	TERMoeLECTRICA	TOTAL
Plantas del INDE Actual	187.70 MW	162.20 MW	349.90 MW
Plantas del INDE a 1986	487.70 MW	162.20 MW	649.90 MW
Plantas de la EEGSA	-----	94.40 MW	94.40 MW
Total SNI Actual	187.70 MW	256.60 MW	444.30 MW
Total SNI a 1986	487.70 MW	256.60 MW	744.30 MW

(Fuente: Informe Estadístico del INDE)

Se considera la puesta en operación del Proyecto Hidroeléctrico Pueblo Viejo Quixal que cuenta con una capacidad de generación de 300 MW, o sea 68% de la capacidad total de generación actual del SNI.

Como se puede apreciar en la tabla 3.E en Guatemala existen varias minihidroeléctricas que se encuentran conectadas al SNI; estas plantas son de una capacidad que oscila entre 500 KW y 5000 KW.

Las minihidroeléctricas al utilizarse para satisfacer la demanda de pequeñas comunidades ya sea aisladamente o conectadas al sistema nacional interconectado tienen mucha importancia cuando se puede por medio de ellos desplazar la generación de origen térmico, o también cuando se requiere compensación por problemas de voltaje de distribución, principalmente problemas de potencia reactiva.

### 3.1.2.2 Sistemas de Operación Individual

Se les considera de operación individual por no estar conectados al sistema Nacional Interconectado y por operar sus plantas en forma individual, ver tabla 3.A. Estos sistemas son:

a. El Sistema Atlántico:

Que sirve al Departamento de Izabal en las poblaciones de Puerto Barrios, Santo Tomás de Castilla, Livingston y El Estor. La capacidad instalada, que es la suma de potencias nominales de estas plantas es de 11.0 MW, todas son plantas Diesel.

b. Otras Plantas Generadoras:

Sirven en distintas localidades del país no cubiertas por el SNI ni el Sistema Atlántico. Sin considerar a los auto-productores (fincas, beneficios, ingenios, otros), la capacidad instalada en estas plantas es de 4.0 MW y están localizadas en las cabeceras municipales de Melchor de Mencos, Santa Elena, Poptún y Fray Bartolomé de las Casas (Sebol); todas son plantas Diesel propiedad del INDE.

c. Plantas Propiedad Municipal y Privadas de Servicio Público:

Son plantas pequeñas y antiguas en su mayoría. Están ubicadas en localidades no servidas por el INDE ni la EEGSA y son propiedad de las Municipalidades o de particulares donde prestan su servicio; existen 29 plantas minihidroeléctricas con una capacidad instalada de 4.662 MW y 19 plantas diesel con 3.274 MW instalados. La capacidad total instalada de estas plantas es de casi 8 MW. Ver tabla 3.E.

### 3.1.2.3 Comentario General de la Capacidad de Generación:

Los siguientes comentarios se hacen tomando en cuenta la puesta

en operación del Proyecto Hidroeléctrico Pueblo Viejo Quixal, considerando la importancia que este proyecto tiene para la Nación; pues de no hacerlo esta información quedaría en poco tiempo obsoleta; cuando entre en operación dicho proyecto.

En toda la República, la capacidad instalada es de 767.30 MW, de los cuales 86.70% pertenecen al INDE, 12.30% a la EEGSA y el resto a Empresas Eléctricas Municipales y Particulares.

De toda la capacidad instalada el 97% pertenecen al SNI (256.60 MW térmicos y 487.70 MW Hidráulicos, estos datos incluyen al Proyecto Hidroeléctrico Pueblo Viejo Quixal). Ver Tabla 3.B.

a. Plantas Hidroeléctricas

El sistema actual está conformado por las hidroeléctricas que se mencionan en la tabla 3.C.

b. Plantas Termoeléctricas

Estas comprenden plantas a vapor, plantas a gas y plantas con motor diesel; Tabla No. 3.0. Es importante considerar que en un sistema termoeléctrico se debe contar con información real de la vida útil del equipo y los planes que existen para el retiro parcial o total de la planta. Este retiro puede ocurrir por desgaste o por obsolescencia de las unidades generadoras.

No existiendo actualmente un plan de retiro de plantas totalmente definido, a continuación en la tabla No. 3.F se presenta un plan tentativo del Departamento de Planificación esbozado a partir de información presentada por el Departamento de Operación, ambos del Instituto Nacional de Electrificación, para que sirva de ilustración.

La energía máxima anual generable por una planta termoeléctrica se establece considerando el registro correspondiente al año de mayor producción menos la energía del mes de menor producción, si en ese año la planta no sale del servicio por mantenimiento.

De esta manera se determinaron los factores de planta máximos históricos para cada planta. Estableciéndose los límites superiores para los factores de planta en 0.80 para planta de vapor y 0.57 para planta de gas, éstos corresponden realmente a 7000 y 5000 horas de operación anual respectivamente.

### 3.2 Proyección de la Demanda Nacional de Energía y Potencia

La determinación y pronóstico de demanda de potencia máxima y energía constituye una información fundamental para demostrar la importancia de hacer planteamientos de expansión de los sistemas eléctricos, entre los cuales se encuentra la implementación centrales minihidroeléctricas entre otros.

Estas proyecciones se obtienen generalmente en base a modelos de diferente estructura a partir de la información disponible.

El Departamento de Planificación del Instituto Nacional de Electrificación, elaboró en 1982 un estudio donde se obtuvieron proyecciones globales y semiglobales. La proyección global se obtiene de considerar parámetros socio-económicos agregados, no considera la estructura de la demanda.

La proyección semiglobal considera una desagregación de la demanda en sectores de consumo, los cuales en Guatemala son básicamente:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Público

### 3.2.1 Hipótesis de Desarrollo de la Demanda

De acuerdo con los análisis efectuados se han planteado 2 hipótesis de desarrollo de la demanda, las cuales asumen condiciones diferentes con relación al desarrollo económico del país y de la proporción que será servida por el Sistema Nacional Interconectado.

La hipótesis 1, que se considera como el desarrollo más probable de la demanda, asume que el coeficiente de electrificación se incrementa en un 25% en 1982 hasta un 60% en el 2005. A la par que considera un crecimiento moderado de la economía a nivel nacional.

La hipótesis 2, que puede considerarse como un planteamiento optimista, asume que el año 2005 se habrá electrificado un 70% de la población y que habrá un desarrollo más acelerado del potencial económico, en comparación con la hipótesis 1.

Las hipótesis referentes al desarrollo económico se plantearon asumiendo tres fases en el desarrollo de la economía, para cada una de las hipótesis de proyección mencionadas anteriormente:

- Fase 1: Tasas de crecimiento bajas, mercado internacional restringido para las exportaciones, escasos recursos financieros para importación.
- Fase 2: Tasas de crecimiento relativamente altas que significan la recuperación del nivel anterior más crecimiento "natural".
- Fase 3: Crecimiento Natural de la economía.

Determinación de las Pérdidas:

Las pérdidas se asumen en base a datos históricos y ése espe-

ra un mejoramiento continuo hasta llegar a un nivel técnico normal; las pérdidas asumidas van desde 13.8% en la generación neta en 1983 hasta el 11% en 1991.

#### Determinación del Factor Carga:

Como base para estimar el factor de carga futuro se ha utilizado la información disponible a partir de 1971, como puede apreciarse en la Tabla No. 3.G (Desarrollo Histórico del Factor de Carga).

#### 3.2.2 Resultado de las Previsiones de Demanda

Los valores obtenidos para la demanda de potencia y energía; se presentan en la tabla No. 3.H, en la cual se indica en cada hipótesis, para cada año, la tasa de crecimiento de la demanda de potencia y energía.

Las figuras 3.2 al 3.5, ilustran gráficamente la relación que existe entre los valores correspondientes a las dos hipótesis de demanda.

Es importante notar que a pesar de aumentar el número de usuarios residenciales conectados como se ven en la figura 3.2, hubo un claro decremento en la demanda de potencia y energía a partir del año 1980, como se aprecia en las figuras 3.4 y 3.5. Esto indica que los parámetros socio-económicos sí permiten estimar las tendencias del desarrollo de la demanda de energía eléctrica en Guatemala. Nótese que el producto Geográfico Bruto (PGB), figura 3.3, presenta también un decremento a partir de 1980.

Las figuras del No. 3.6 al No. 3.8, ilustran la densidad del consumo de energía eléctrica para distintas etapas de la proyección de la demanda de energía en Guatemala, éstas pertenecen al Plan Maestro de Electrificación Nacional.

### 3.3 Recursos Hidroenergéticos una Alternativa

Por tratar el presente trabajo de Tesis el tema de las Minihidroeléctricas, lógicamente me limitaré a él, sin entrar a tratar el tema de los grandes esquemas.

La situación geográfica y climatológica de Guatemala, sujeta entre otros a la acción favorable de los vientos alisios que establecen un régimen de lluvia anual muy abundante, hacen que el país se vea favorecido por grandes recursos hidráulicos que se estima pueden generar proyectos económicamente viables para minihidroeléctricas que den servicio a zonas apartadas, a pequeñas comunidades o bien a los centros de producción económica de la iniciativa privada.

Luego de una profunda investigación, tanto de autores como de reportes de organismos nacionales e internacionales, es mi intención plantear en el presente trabajo de tesis el nombre genérico de Minihidroeléctrica para reconocer los siguientes criterios de clasificación:

Minihidroeléctricas:

- Microcentrales, plantas de menos de 50 KW
- Minicentrales, plantas de 50 a 500 KW
- Pequeñas centrales, plantas de 500 a 5000 KW

Esta clasificación se basa en el hecho de considerar que para el primer grupo de plantas de menos de 50 KW, los requerimientos de confiabilidad del servicio son menores por ser instalaciones que únicamente pueden servir a usuarios individuales, pequeñas industrias y difícilmente pueden comprender servicio público.

En el segundo grupo se tomó en consideración el hecho de que ya sirven a pequeñas comunidades o industrias mayores que requieren una

confiabilidad mayor de servicio. El límite de 500 KW se estableció considerando que en el país hay posibilidad de construir localmente toda la maquinaria hidráulica. (Ver Tabla 3.I)

El tercer grupo se establece a partir del hecho de considerar que para instalaciones mayores de 500KW por el momento, en el país no hay posibilidad de construir los equipos hidráulicos.

Considero que en los tres casos hay capacidad en el país para la planificación y el diseño de la obra civil y del proyecto en general.

### 3.3.1 Potencial Hidroeléctrico de Guatemala

Según estudios realizados por el Departamento de Planificación del INDE, Guatemala cuenta con un Potencial inestable de 9642.20 MW para una producción de energía media de 42962 GWh/año. Ver tablas No. 3.J y No. 3.K, para tener referencia de la ubicación y el tamaño de las respectivas cuencas, ver la figura No. 3.9.

De lo anterior se estima que el potencial del país en plantas menores de 5000 KW, que sean económicamente explotables a los precios competitivos actuales de la generación por otros medios, (como lo es la generación térmica a base de combustibles derivados del petróleo) alcanza un potencial superior a los 1000 MW (casi el 11% del total) con una generación anual promedio de 2,500 GWh.

En el documento Pequeñas Centrales Hidroeléctricas del Departamento de Planificación del INDE se presenta un estudio detallado de puntos potenciales de instalación para pequeñas Hidroeléctricas desde 1000 KW en adelante. Para dicho estudio se dividió al país en 11 zonas (ver fig. 3.10); por ser del interés de este trabajo de Tesis aquellos esquemas pequeños o aquí llamados Centrales Minihidroeléctricas (menos de 5000 KW), me parece interesante al presentar a manera de ilustrar al lector la importancia que

se le da ya el tema en Guatemala, un ejemplo contenido en el referido documento y que se encuentra en el rango de interés del presente trabajo de tesis (Menores de 5000 KW); ver Figura No. 3.1.1.

De lo anterior se puede concluir que existe un potencial muy grande en plantas minihidroeléctricas menores de 1000 KW.

### 3.4 Otros Recursos

No se pretende definir ventajas absolutas de uno u otros sistema energético, sino más bien establecer en forma cualitativa los principales elementos y criterios de comparación de alternativas existentes, sin proponer metodologías de análisis cuantitativo.

Frecuentemente en el análisis comparativo de las centrales hidroeléctricas con respecto a otros sistemas alternativos, se asumen a priori determinadas desventajas reales o supuestas de las centrales minihidroeléctricas y los cálculos económicos de evaluación de alternativas, se distorcionan frecuentemente por el uso de índices demasiado conservadores.

Este trabajo de tesis no pretende demostrar que las Minihidroeléctricas sean la mejor solución; ya que está demostrado que sólo hay soluciones adecuadas para cada caso, que se determinan mediante el análisis comparativo de las diversas alternativas.

#### 3.4.1 Generación Térmica

Para generación eléctrica normalmente se emplean grupos Diesel de Bunker y para las pequeñas potencias grupos con motor a gasolina.

Tradicionalmente constituyeron la principal alternativa, y su uso muy difundido se debió a:

- Bajo precio de combustibles y lubricantes
- Bajo precio de adquisición
- Fácil instalación
- Operación Sencilla

El consumo de combustibles para la generación eléctrica en 1982 por parte del INDE se puede apreciar en el cuadro siguiente de dicho consumo más del 98% fue importado.

#### CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR EL INDE

<u>Tipo de Combustible</u>	<u>Generación Bruta</u>	<u>Cantidad de Combustible gals.</u>	<u>Rendimiento (KWH/Gal)</u>	<u>Costo Prom. KWH (Cent.)</u>
Diesel	112 878 MWH	12 641 664	8.93	12.24
Bunker "C"	387 887 MWH	36 045 991	10.76	7.29

La producción de energía eléctrica en 1982 por las plantas de servicio público (incluye EEGSA) fue de 1412.70 GWH, de los cuales el 34% fue de origen hidráulico (481.4 GWH) y el resto termoeléctrico que consume los derivados del petróleo o sea 66% (930.77 GWH).

Estos datos no contemplan la energía producida por toneladas de combustible de origen vegetal.

La descripción anterior se hace con el objeto de ilustrar al lector de la situación prevaleciente actualmente; la cual seguramente sufrirá un cambio radical al entrar en operación el Proyecto Chixoy (300 MW y aproximadamente 1400 GWH al año); lo cual da un índice de la ventaja económica a largo y medio plazo de la explotación de los recursos hídricos del país.

Como mencionábamos al inicio de este numeral, hasta finales de los años 60 la producción de la energía eléctrica a base de combustibles era sumamente ventajosa, pero al romperse el esquema energético que se basa-

ba en el bajo precio de los combustibles, ante la crisis energética puesta de manifiesto a partir del año 1973, objetivamente deja de ser en muchos casos una opción válida para el abastecimiento de la energía.

En la actualidad los principales casos donde resulta conveniente el empleo de pequeños grupos térmicos son:

- Como unidad de emergencia.
- En localidades aisladas donde no existen recursos hídricos fácilmente aprovechables y donde no se justifique la extensión de las líneas de transmisión existentes.

Como secuela de lo mencionado anteriormente es de importancia que en Guatemala se pongan en práctica recomendaciones como las emitidas por la Comisión Centroamericana de Energía, (COMENER).

- a. Disminuir la dependencia de la energía importada a través del desarrollo de los recursos naturales del país.
- b. El fomento, desarrollo y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente las renovables, como son la energía Hidráulica (Minihidroeléctricas), la solar, la biomasa y la eólica.
- c. La racionalización del consumo a través de medidas de conservación y aprovechamiento más eficiente de la energía y el establecimiento de medidas y procedimientos que consuman menos energía en el uso domiciliario, el transporte, la industria y las mismas instituciones estatales.

A continuación se presenta un cuadro con las ventajas y desventajas más significativas del uso de los derivados del petróleo para la generación termoeléctrica con respecto a las Minihidroeléctricas:

VENTAJAS:

- Menores inversiones
- Más fácil instalación
- Operación sencilla
- Menores requerimientos de estudios para su instalación

DESVENTAJAS:

- Elevados gastos en combustibles y lubricantes con tendencia a incrementarse.
- Costoso mantenimiento y reparación
- Requiere mayor calificación para el personal de mantenimiento y reparación.
- Requiere el uso de divisas para la importación de los repuestos que son de difícil obtención.
- Existen pocas perspectivas que en nuestro medio se desarrolle la producción local de motores.
- Reducida vida útil (máximo de 10 a 15 años).
- Producen problemas a la ecología nacional para su alto grado de contaminación ambiental.
- Contribuyen a incrementar la demanda y dependencia del petróleo, la cual representa un grave riesgo para la inestabilidad demostrada en los últimos 10 años por el mercado internacional del petróleo.

### 3.4.2 Otras Fuentes Nuevas y Renovables de Energía:

La República de Guatemala por su posición geográfica y sus características topográficas y geológicas cuenta con grandes recursos energéticos naturales, a continuación hago mención de ellos sin incluir los recursos hidráulicos y su tecnología por tratarse de ellos más ampliamente en el resto de capítulos de la presente tesis.

#### a. Recursos Geotérmicos

Por estar Guatemala en una región de gran actividad volcánica reciente, cuenta con grandes recursos geotérmicos, cuyo potencial se estima en las siguientes cantidades, según SIECA:

#### Potencial Geotérmico de Guatemala

No. de Campos	Potencia MW	Energía Anual GWH
5	1800	12600

Los resultados preliminares obtenidos de investigar el Campo de Zunil son promisorios.

Resulta pues un renglón de importancia potencial, si se toma en consideración que cuando se dispone de este recurso puede ser empleado para la generación eléctrica en centrales de mediana o gran potencia, siendo también posible su utilización en pequeñas unidades.

#### b. Energía Solar

Estando Guatemala situada en la franja de mayor insolación del mundo, esta fuente de energía parece muy prometedora al lograrse superar los problemas tecnológicos para su aprovechamiento en condiciones económicas de competitividad, ya que actualmente no constituye una fuente barata

de energía fósil.

La radiación solar en Guatemala según informe de SIECA se mantiene aproximadamente cerca de los 20 MJ por metro cuadrado por día durante el año, con una media de más de 2200 horas de insolación anuales. Esta enorme cantidad para todo el territorio de Guatemala alcanza a la cifra aproximada de  $1.67 \times 10^{14}$  MWh al año.

A nivel nacional es poco lo que se está haciendo para el aprovechamiento directo de la energía solar. Sólomente se ha empleado en pequeña escala a través de la utilización de calentadores solares para agua caliente domiciliar, calentamiento de ambientes que requieren un adecuado diseño arquitectónico, o el uso que tradicionalmente se ha hecho de secar productos agrícolas como el café, el maíz, el cacao, la madera y otros.

El Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) ha estado desarrollando prototipos para fomentar el uso a nivel rural de secadoras de productos agrícolas, tratando de optimizar la eficiencia en su utilización.

La producción de la energía eléctrica aprovechando la energía solar directa se realiza por medio de unidades térmicas que operan con el ciclo Rankine de vapor, involucrando muy elevados costos de inversión inicial y eficiencias muy reducidas. También se emplean células fotovoltaicas, más como una curiosidad científica, éstas convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica, pero su costo inicial es estimativamente de 10,000 quetzales por KW instalado, que las hace económicamente poco competitivas.

c. Aprovechamiento de la Biomasa

Aproximadamente el 50% del territorio nacional está ocupado por

bosques, y también se estima que el 10% contiene tierras aptas para la agricultura intensiva de cultivos anuales y el 28% para cultivos permanentes. Como puede apreciarse, una gran parte del área tiene posibilidades de utilizar la biomasa como fuente de energía.

La leña y el carbón vegetal se ha utilizado en Guatemala principalmente en el área rural y en las pequeñas comunidades a nivel domiciliario, para la cocina de alimentos y en la pequeña industria. Se estima de conformidad con el último censo realizado por la Dirección General Estadística, que más del 75% de las viviendas usan cocinas de leña o carbón, lo que representa a nivel nacional más de 700000 toneladas de petróleo equivalente.

La utilización de estos recursos se hacen con gran perjuicio al medio ambiente (ecología), debido a la depredación de los bosques; ya que su explotación se realiza sin ningún control y sin una técnica adecuada de reforestación y aprovechamiento nacional del mismo. Es de anotar que el rendimiento térmico que se obtiene con las cocinas primitivas de nuestro medio rural, apenas es del 10% del poder calorífico de la leña consumida.

En Guatemala actualmente se hacen esfuerzos por mejorar las cocinas que se utilizan a través del desarrollo del prototipo conocido como estufa LORENA.

El ICAITI realiza un programa de "Leña y Fuentes Alternas de Energía", que cuenta con la asistencia de la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID), dicho programa pretende desarrollar procedimientos más eficientes en la utilización de leña y carbón vegetal, desarrollo de fuentes alternas sustitutivas de la leña.

d. Aprovechamiento de Biogás

La producción de Biogás tiene grandes ventajas, no sólo como fuen-

te energética, sino también en relación a su capacidad de producción de fertilizantes e impacto positivo sobre la salud y el medio ambiente.

Sus principales aplicaciones energéticas se orientan a aplicaciones térmicas, para iluminación, cocina y afines. También puede emplearse para operar motores de explosión adaptados al uso de biogás.

Lo anterior es significativo si consideramos un potencial del biogás estimativo para el país, cabe citar que se producen desechos orgánicos de una población cercana a los 8 millones de habitantes, de aproximadamente 2 millones de animales vacunos, 1 millón de porcinos y 8 millones de aves de corral, así como grandes cantidades de desechos agrícolas, que en determinadas condiciones, representan un fuerte potencial para el uso del biogás como energético.

La utilización de la fermentación anaeróbica para la producción del gas metano se ha empleado en Guatemala desde 1956 y actualmente a través de un programa que cuenta con la asistencia de OLADE, fomentando el desarrollo de plantas prototipo a nivel rural, por ejemplo instalaciones que aprovechan el estiércol de un hato de vacas pequeña para la producción de metano, que se utiliza directamente en la cocina, iluminación de la vivienda y como combustible para una pequeña planta eléctrica de gasolina.

e. Alcohol Carburante

Ya sea la caña de azúcar o la yuca, son un potencial para la producción del alcohol carburante, aprovechando la propia caña, la melaza resultante de la fabricación del azúcar o la yuca directamente.

El ICAITI ha realizado una experiencia operando más de cincuenta vehículos con una mezcla del 15% de alcohol, habiendo obtenido resultados muy satisfactorios.

Así mismo debe considerarse las ventajas adicionales que tendría la utilización del alcohol, como sería la disminución de las importaciones de derivados del petróleo de cara y difícil adquisición, a la vez el aumento de oportunidad de trabajo para la mano de obra rural, así como el establecimiento de un mercado más firme para la producción cañera, induciendo una disminución a las fluctuaciones del precio debidos a factores externos.

f. Energía Eólica

Anteriormente se indicó las ventajas de la posición geográfica de nuestro país; es por esto que existe un gran potencial de energía eólica, según estima la SIECA puede llegar a representar más de 75 KWh anuales por metro cuadrado expuesto al viento.

La mayor desventaja en su utilización es su variabilidad y la imposibilidad de almacenamiento en su forma original, por lo que se tiene que recurrir a medios de estabilizar la potencia y almacenar la energía ya transformada en energía secundaria que puede ser eléctrica, térmica, mecánica o química.

Su mayor campo de aplicación está dado por el bombeo de agua del subsuelo; sin embargo, existen también numerosas aplicaciones, inclusive a nivel comercial de aerogeneradores para producir energía eléctrica. En Guatemala se ha patentado una turbina de eje vertical para viento, consistente en dos áreas que se mueven en sentido vertical que las opone a la fuerza del viento cuando está en un sentido y las levanta suprimiendo la resistencia al mismo al girar 180 grados.

Se indica que su rendimiento es muy alto y que puede operar con vientos de baja velocidad cualquiera que sea su dirección.

g. Comentarios

Las diversas fuentes renovables constituyen válidas alternativas

energéticas para el desarrollo rural, sin embargo, en la mayoría de los casos no constituyen sustitutos a las minihidroeléctricas, tanto en razón de las formas terminales del aprovechamiento energético (aprovechamiento de energía mecánica directa o fuentes de calor), o cuando resultan adecuadas para producir energía eléctrica, su aplicación generalmente se justifica económicamente sólo para potencias muy reducidas.

Las ventajas de las Centrales Minihidroeléctricas respecto a otras fuentes renovables pueden resumirse así entre otras:

- Fácil adaptación para la producción de energía eléctrica.
- Menores costos unitarios de inversión por unidad de energía útil.
- Tecnología madura y probada.

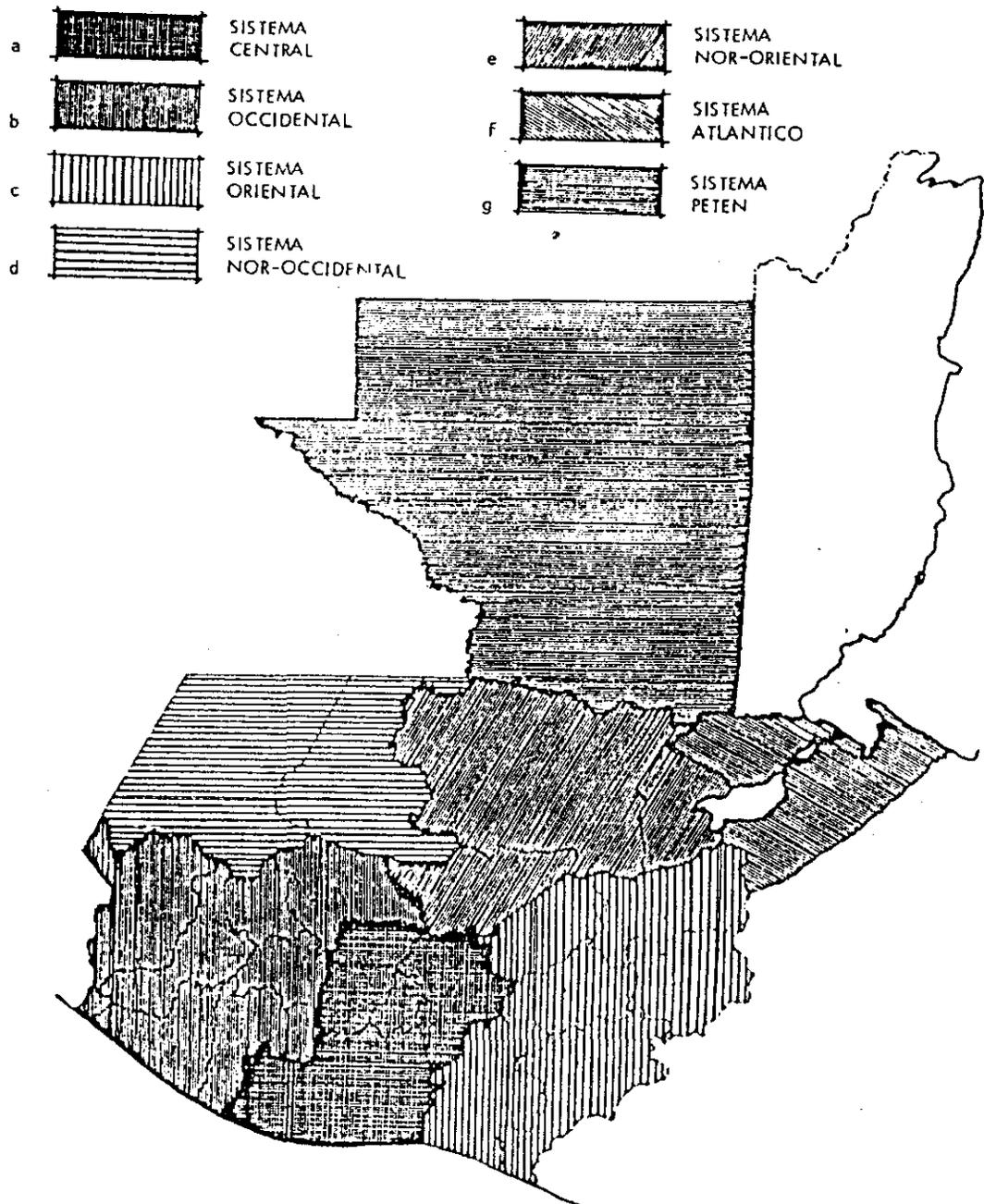


Fig. 3.1 Zonificación del Suministro de energía eléctrica en Guatemala.

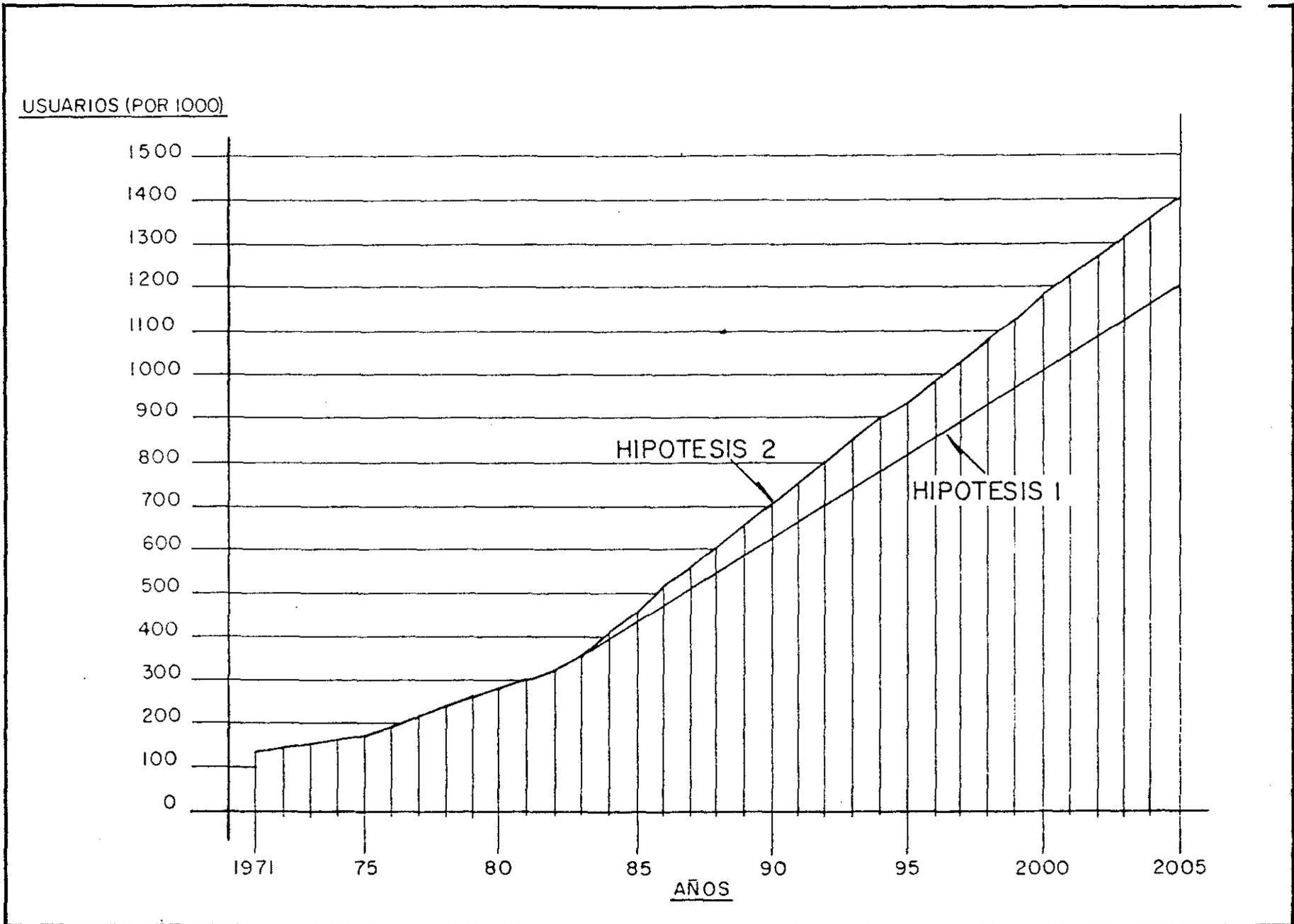


Fig. 3.2 Usuarios Residenciales del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

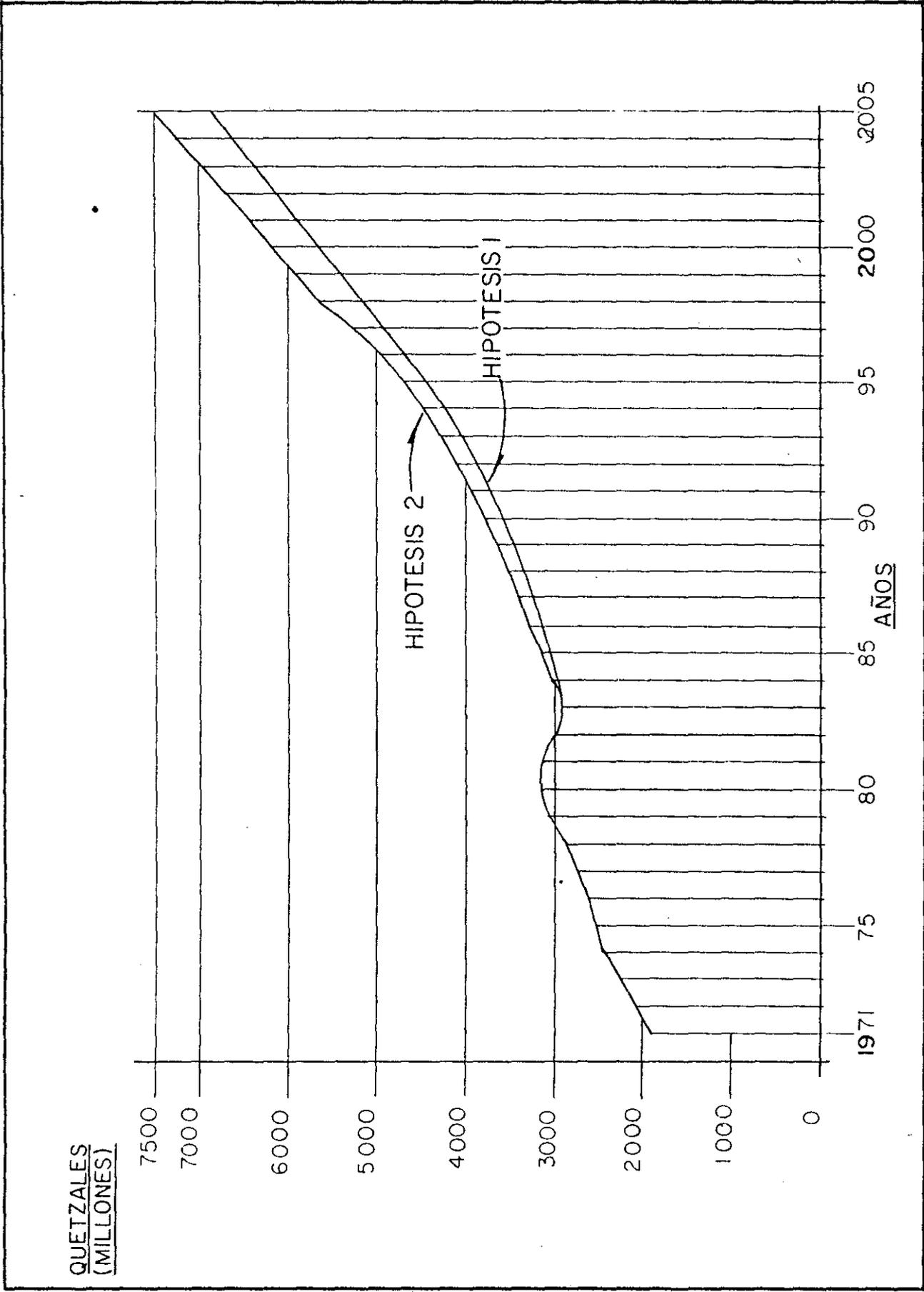


Fig. 3.3 PGB Global

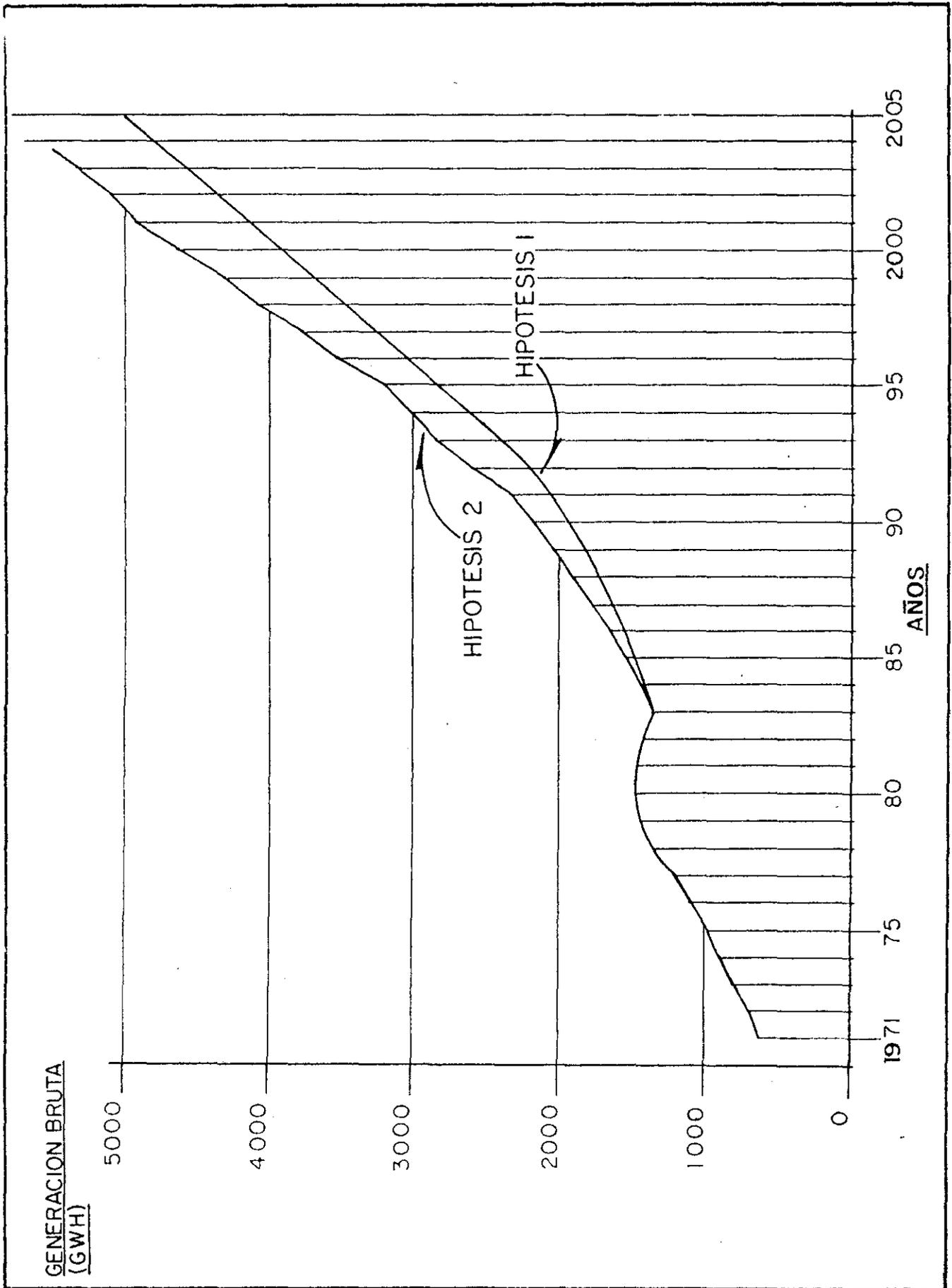


Fig. 3.4 Generación Bruta

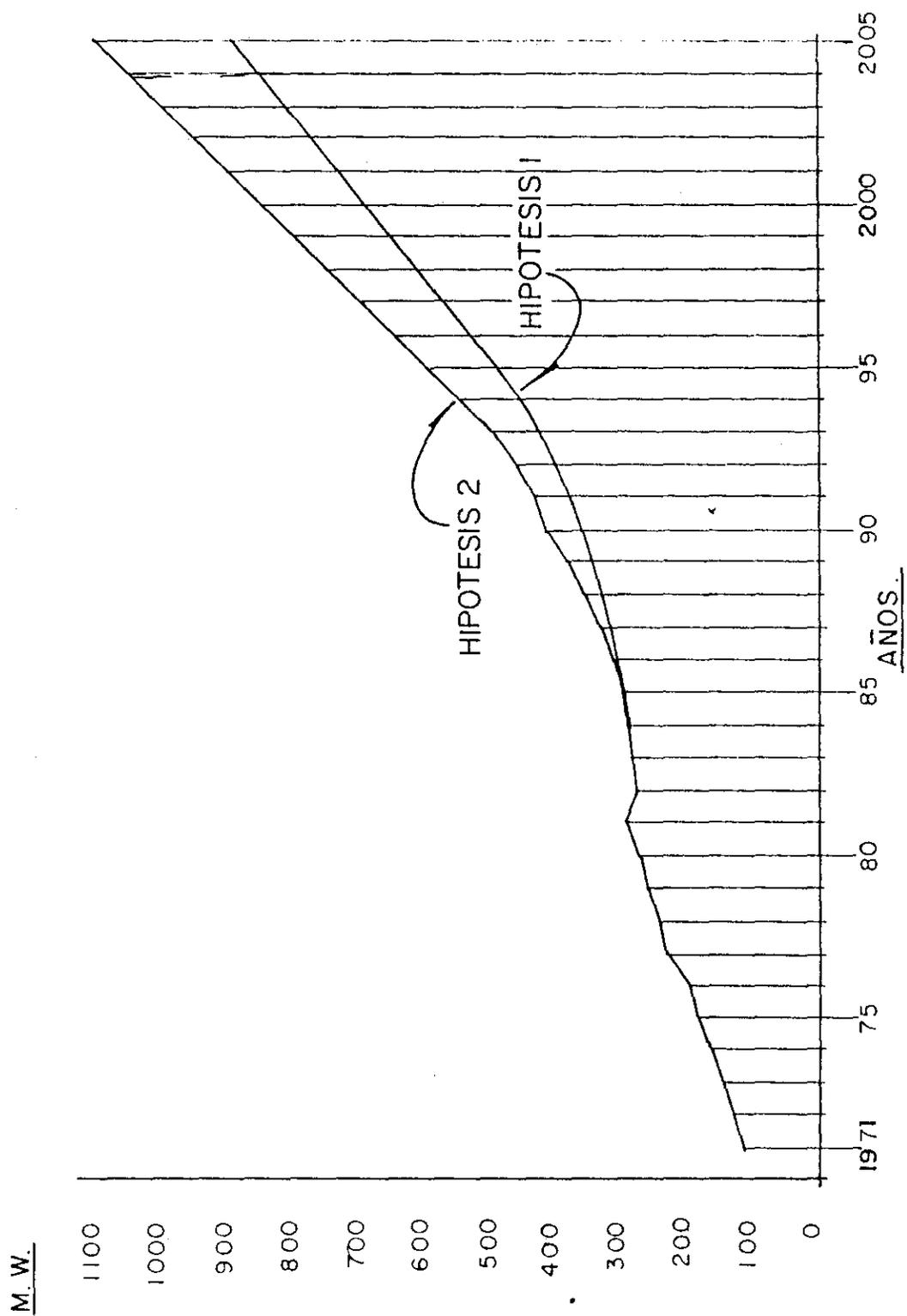


Fig. 3.5 Máxima Demanda (MW)

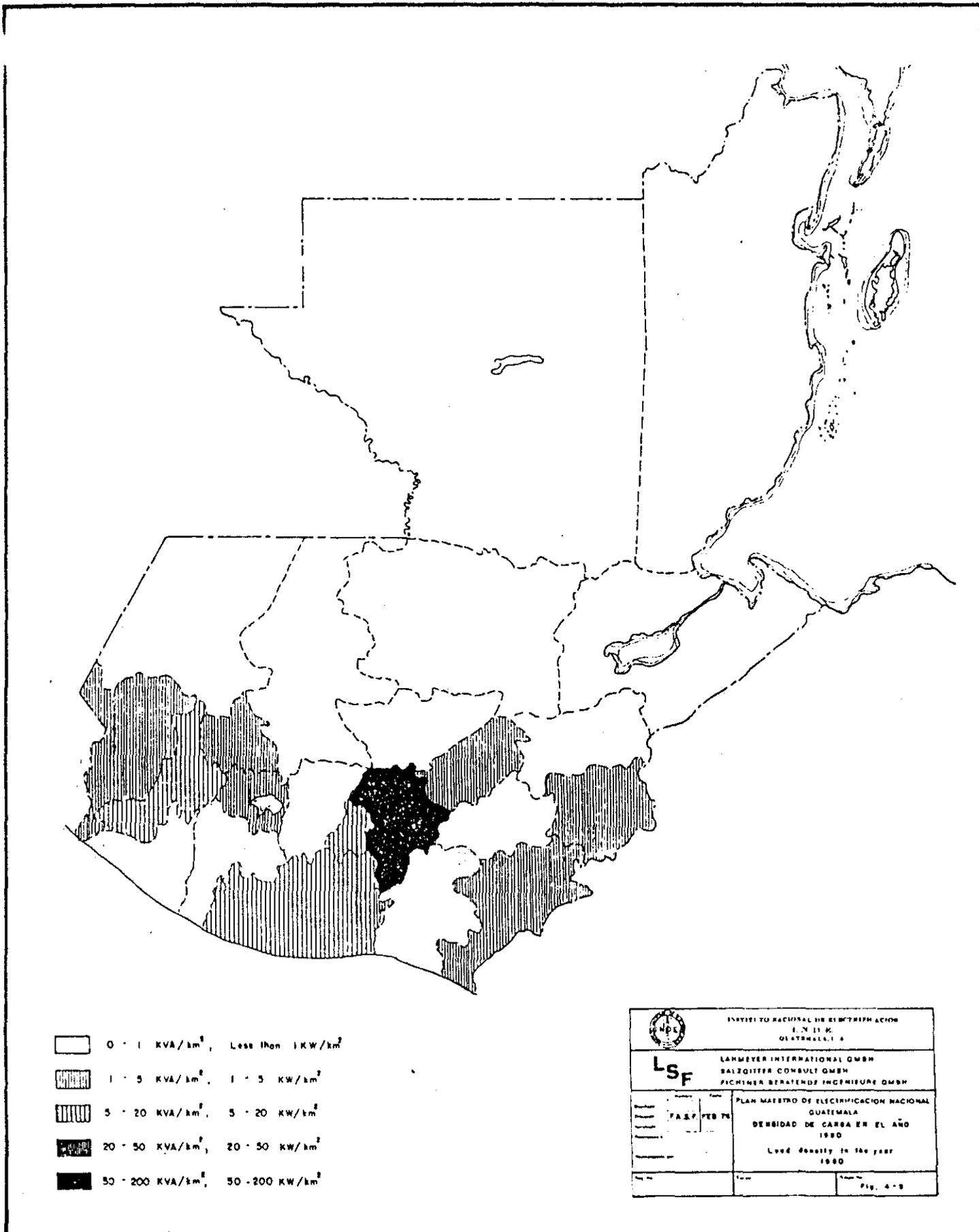


Fig. 3.6 Densidad de carga proyectada (Demanda Máxima)  
 Por departamento en KVA/km<sup>2</sup>, 1980.

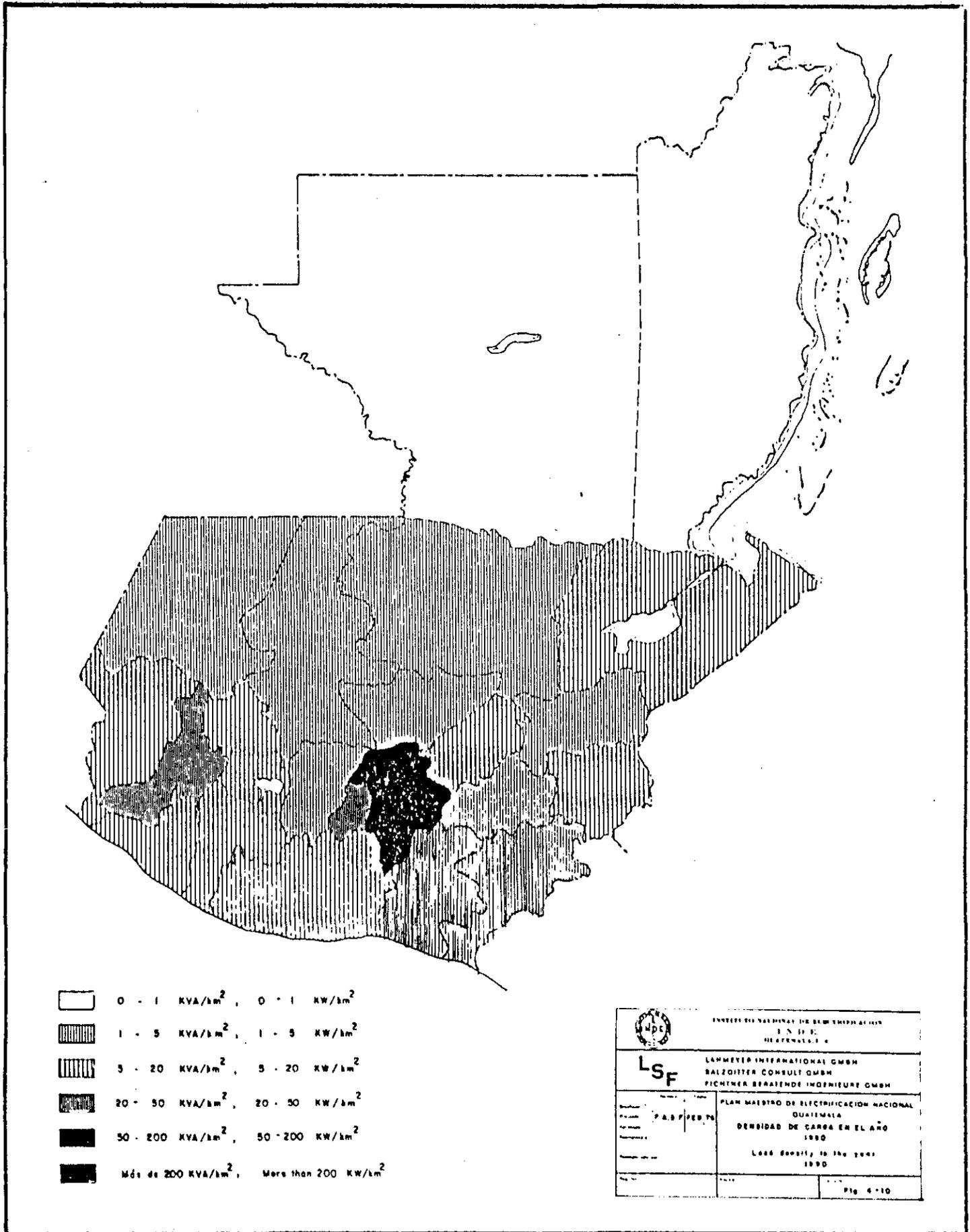
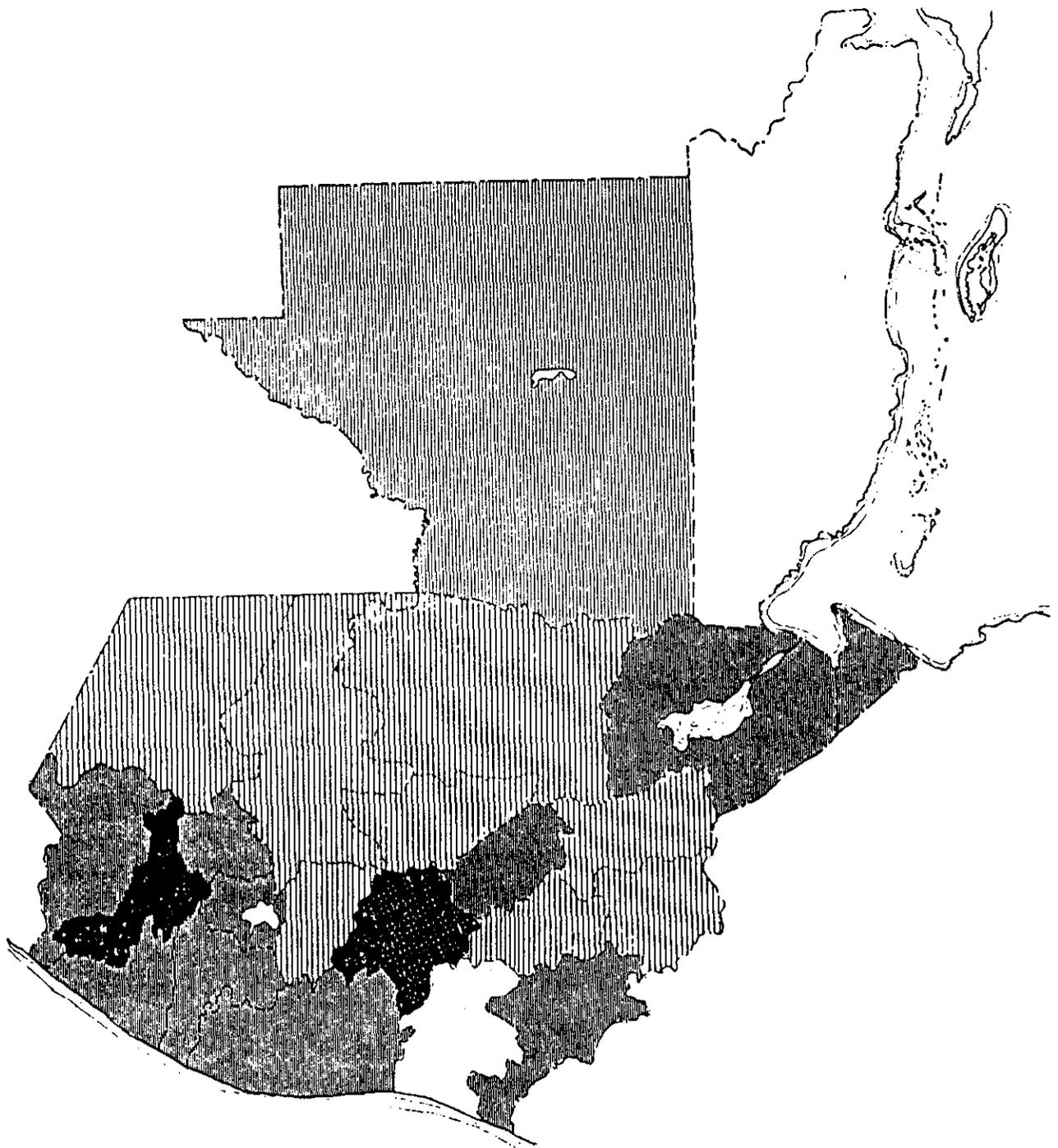


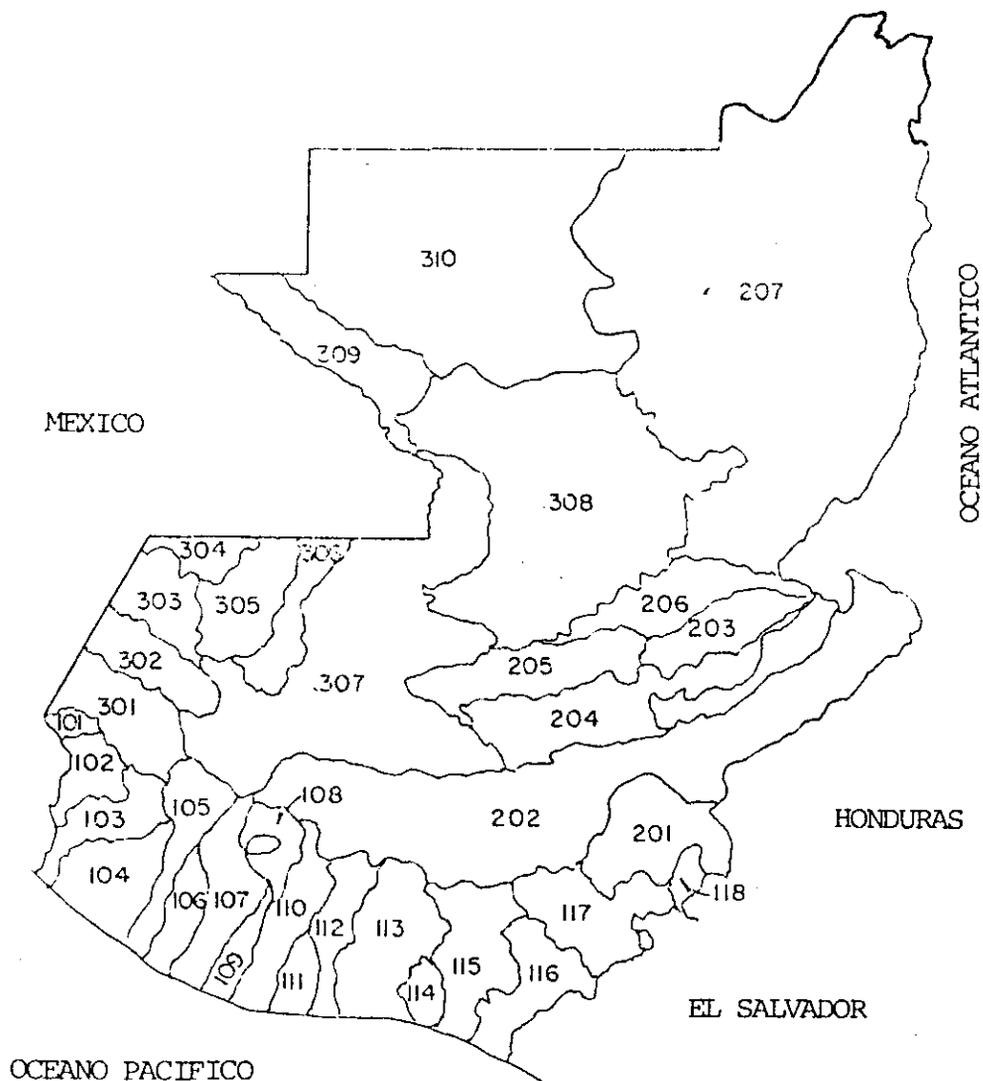
Fig. 3.7 Densidad de carga proyectada (Demanda Máxima) Por Departamento en KVA/km<sup>2</sup>, 1990.



-  1-5 KVA/km<sup>2</sup> , 1-5 KW/km<sup>2</sup>
-  5-20 KVA/km<sup>2</sup> , 5-20 KW/km<sup>2</sup>
-  20-50 KVA/km<sup>2</sup> , 20-50 KW/km<sup>2</sup>
-  50-200 KVA/km<sup>2</sup> , 50-200 KW/km<sup>2</sup>
-  Más de 200 KVA/km<sup>2</sup> , Más than 200 KW/km<sup>2</sup>

 INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA <b>INDE</b> INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
<b>LSF</b> LAHMeyer INTERNATIONAL GMBH BALZGUTER CONSULT GMBH FICHTNER BERATUNG INGENIEURE GMBH	
PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION NACIONAL GUATEMALA DENSIDAD DE CARGA EN EL AÑO 2000 Load density in the year 2000	Fig. 4-11

Fig. 3.8 Densidad de carga proyectada (Demanda Máxima)  
 Por Departamento en KVA/km<sup>2</sup>, 2000.



- |     |             |     |                  |     |                |
|-----|-------------|-----|------------------|-----|----------------|
| 101 | Coatán      | 113 | María Linda      | 207 | Mopán (Belice) |
| 102 | Suchiate    | 114 | Talpetate        | 301 | Cuilco         |
| 103 | Naranjo     | 115 | Esclavos         | 302 | Selegua        |
| 104 | Ocosito     | 116 | Paz              | 303 | Nentón         |
| 105 | Samalá      | 117 | Ostúa            | 304 | Ixquisis       |
| 106 | Icán        | 118 | Olopa            | 305 | Ixcán          |
| 107 | Nahualate   | 201 | Grande de Zacapa | 306 | Xalbal         |
| 108 | Atitlán     | 202 | Motagua          | 307 | Chixoy         |
| 109 | Madre Vieja | 203 | Dulce            | 308 | Pasión         |
| 110 | Coyolate    | 204 | Polochic         | 309 | Usumacinta     |
| 111 | Acme        | 205 | Cahabón          | 310 | San Pedro      |
| 112 | Achiguate   | 206 | Sarstún          |     |                |

Fig. 3.9 Mapa de cuencas de la República de Guatemala

TABLA 3.A. CAPACIDAD INSTALADA EN PLANTAS DEL INDE Y FURSA

SISTEMA	No. UNIDADES	CAPACIDAD PLACA KVA	CAPACIDAD PLACA KW	CAPACIDAD CONFIABLE	VOLTAJE KV	PUESTA EN OPERACION
NACIONAL INTERCONECTADO			744 320			
HIDRAULICAS			487 720			
*Turbine Viejo-Quixal	5		300 000	300 000	230.000	Pendiente
Amacapa	1	112 500	90 000	90 000	10.000	22-02-82
Jurón Marinalá	3	75 000	60 000	60 000	13.800	12-02-70
Esclavos	2	16 875	13 500	13 000	6.900	17-08-66
El Salto	2	6 875	5 500	5 500	2.400/2.500	15-07-54
San Luis	2	6 250	5 000	5 000	2.300/2.400	15-10-27
Palón	3	2 275	1 820	1 000	.240/ .330	01-09-27
Río Bardo	2	3 000	2 400	2 400	5.000	23-02-62
Santa María	3	8 150	6 520	6 000	2.300	25-06-66
El Percebir	1	2 850	2 280	2 000	2.300	Sept. 1968
Chichic	2	875	700	600	.420	26-07-79
TERMICAS						
VAPOR			116 000			
Escuintla Vapor I	1	41 300	33 000	25 000	13.800	27-05-72
Escuintla Vapor II	1	60 000	53 000	50 000	13.800	22-04-77
Laguna Vapor (EGCSA)	4	37 500	30 000	30 000	13.800	1961
TURBINA DE GAS			134 400			
Escuintla Gas 1 y 2	2	31 250	25 000	20 000	13.800	7-05-68
Escuintla Gas 3 y 4	2	62 500	50 000	50 000	13.800	9-08-76
Laguna Gas 1 (EGCSA)	1	15 625	12 500	10 000	13.800	1964
Laguna Gas 2 y 3 (EGCSA)	2	56 000	46 900	-----		
DIESEL			6 200			
San Felipe	1	1 500	1 000	1 200	2.400	08-05-65
La Castellana (FURSA)	5	6 250	5 000	5 000	2.400	1956
OPERACION			15 055			
ATLANTICO						
DIESEL			11 000			
Puerto Barrios	10	11 937	9 550	5 450	2.400	1977
Livingston	7	750	600	600	.240	1975
El Estor	4	1 062	850	850	.240	02-09-81
PETEN						
DIESEL			3 700			
Melchor de Mencos	4	437	350	350	.240	25-09-76
San Elena	9	3 687	2 950	2 950	.240	1978
Popún	3	500	400	400	.240	15-12-80
ALTA VERAPAZ						
DIESEL			355			
Sebel	4	444	355	355	.240	Abril/1980

\*Será Puesta en operación al concluir reparaciones en túnel de aducción.

FUENTE: Departamento de Operación, Instituto Nacional de Electrificación.

TABLA 3.B. RESUMEN DE CAPACIDAD KW

PRODUCTO TIPO DE GENERACION	HIDRAULICA	T E R M I C A			TOTAL
		VAPOR	GAS	DIESEL	
SNI					
INDE	487 720	86 000	75 000	1 200	649 920
EEGSA		30 000	59 400	5 000	94 400
TOTAL SNI	187 720	116 000	134 400	6 200	744 320
P.O.I.					
INDE	-----	-----	-----	15 055	15 055
MPAL. Y PRIV.	4 662	-----	-----	3 274	7 936
TOTAL P.O.I.	4 662	-----	-----	18 329	22 991
GRAN TOTAL REPUBLICA	492 382	116 000	134 400	24 529	767 311

FUENTE: Departamento de Operación, Instituto Nacional de Electrificación

NOTA: Las Plantas de Patzún y Pixcaya salieron de operación.

TABLA 3.C. PLANTAS HIDROELECTRICAS EXISTENTES SNI

Nombre de la Planta	Potencia (MW)	Caudal de Diseño (m <sup>3</sup> /seg)	Caída de Diseño (m)	Numero Unidades	Tipo de Turbinas
Pueblo Viejo-Quixal *	300		490	5	Peltón eje vert.
Aguacapa	90	20	554.10	3	Peltón eje hor.
Jurún Marinalá	60	12	660	3	Peltón eje hor.
Los Esclavos	13	15.36	108	2	Francis eje vert.
Palín	1.24	U1: 2.26 U2: 1.06 U3: 1.06	84	3	Unidad 1: Francis vert. Unidad 2 y 3: Peltón hor.
San Luis	2.50	7.30	87	2	Francis eje vert.
El Salto	5.50	U1: 4.38 U2: 4.88	73	2	Francis eje hor.
Santa María	6.40	U1 y 2: 2.35 U3: 2.42	101 104	3	Peltón eje hor.
El Porvenir	2.28	1.20	231.25	1	Peltón
Río Hondo	2.40	1.46		2	Peltón
Chichaic	0.700			2	

\* Contempla la puesta en operación del Proyecto.

FUENTE: Departamento de Planeamiento.

TABLA 3.D. PLANTAS TERMoeLECTRICAS EXISTENTES SNI

Producción Máxima Anual

Nombre de la Planta	Potencia (MW)	Factor de Planta	Producción Máx. (GWh)
Escuintla Vapor 1	33	0.80	231
Escuintla Vapor 2 *	53	0.70	325
Escuintla Gas 1 y 2	2 x 12	0.50	105
Escuintla Gas 3 y 4	2 x 25	0.50	219
Laguna Vapor 1 y 2	2 x 35	0.80	49
Laguna Vapor 3 y 4	2 x 13	0.80	182
Laguna Gas 1	Retirada en marzo de 1982		
Laguna Gas 2 y 3 cc	2 x 18	0.57	180
* Al estar reparada	53	0.80	871

TABLA 3.1.E. CAPACIDAD INSTALADA EN PLANTAS PROPIEDAD MUNICIPAL Y PRIVADAS\*  
(DE SERVICIO PUBLICO)

NOMBRE DE LA PLANTA	CAPACIDAD KW	T I P O		DEPARTAMENTO
		** HIDRAULICA	TERMICA	
TOTAL PAIS	7 916	4 662	3 274	
ZONA OCCIDENTAL	5 573	3 508	2 065	
Santa Catarina Ixtahuacán	6		6	Sololá
Mequiché	75	75		Totonicapán
Zunil	1 000	1 000		Quezaltenango
Chirrietz	1 000		1 000	Quezaltenango
Mecayá	50	50		Suchitepéquez
Vicente Castillo	140	140		Suchitepéquez
Filadelfo Learea	244	150	94	Suchitepéquez
Batulal	191	156	35	Suchitepéquez
Orosito	1 473	693	780	Beta Ihuileu
San Marcos	150		150	San Marcos
La Castaña	268	268		San Marcos
Comitaucillo	12	12		San Marcos
Colección Tutuapa	50	50		San Marcos
Los Molinos	60	60		San Marcos
El Tambador	138	138		San Marcos
La Reforma	38	38		San Marcos
Armenia	132	132		San Marcos
San Pedro	167	167		San Marcos
Zacualpa	45	45		Quiché
Jayabaj	118	118		Quiché
Chichicastenango	216	216		Quiché
ZONA ORIENTAL	212	200	12	El Progreso
Cowaja	200	200		El Progreso
San Antonio la Paz	12		12	El Progreso
ZONA NOR-OCCIDENTAL	1 109	674	435	
San Miguel Uspantán	37	37		Quiché
Chiantla	80	80		Huehuetenango
Nentón	20		20	Huehuetenango
San Balala	80	80		Huehuetenango
Huehuetenango	892	477	415	Huehuetenango
ZONA NOR-ORIENTAL	405	280	125	
Salamá	100		100	Baja Verapaz
San Jerónimo	54	54		Baja Verapaz
Rabinal	48	48		Baja Verapaz
Ticurú	25		25	Alta Verapaz
Cucanjá	18	18		Alta Verapaz
Panzós	30	30		Alta Verapaz
Senahú	30	30		Alta Verapaz
Cobalán	100	100		Alta Verapaz
ZONA DE PETÉN	637		637	
San José	25		25	Petén
La Libertad	105		105	Petén
Dolores	25		25	Petén
San Luis	50		50	Petén
San Francisco	30		30	Petén
Sayaxché	60		60	Petén
San Andrés	17		17	Petén
San Benito	325		325	Petén

\* Plantas en Operación

\*\* Milihidroeléctricas

FUENTE: Departamento de Operación e Inspecciones de la UDEL (1989)

TABLA 3.F. PLAN PRELIMINAR DE REPARACION Y RETIRO DE PLANTAS

TERMOELECTRICAS EXISTENTES

Nombre de la Planta	Retiros y Reparaciones
Escuintla Vapor 1	Se retira temporalmente 24 meses para reparación a partir de enero de 1984. Estará nuevamente disponible a partir de enero de 1986. Se retira después del horizonte de planificación.
Escuintla Vapor 2	Se retira temporalmente 12 meses para reparación a partir de enero de 1986. Estará nuevamente disponible en enero de 1987. Se retira después del horizonte de planificación.
Escuintla Gas 1 y 2	Se retiran de operación comercial en enero de 1984.
Escuintla Gas 3 y 4	Se retiran en enero de 2003.
Laguna Vapor 1 y 2	Se retiran de operación comercial en enero de 1985.
Laguna Vapor 3 y 4 CC	Se retiran en enero de 1996.
Laguna Gas 1	Se considera ya retirada de operación comercial.
Laguna Gas 2 y 3 CC	Se retiran en enero de 1996.

FUENTE: Departamento Planeamiento del INDEF

TABLA 3.G. DESARROLLO HISTORICO DEL FACTOR DE CARGA

Año	Potencia Máxima (MW)	Energía Anual (GWH)	Factor de Carga (%)
1971	118.9	606,197	58.2
1972	134.9	687,082	58.1
1973	142.7	777,912	62.0
1974	163.1	842,356	59.0
1975	185.0	950,490	59.0
1976	199.5	1 033,441	59.1
1977	237.2	1 201,077	57.8
1978	247.8	1 332,650	61.4
1979	265.2	1 414,416	60.9
1980	272.8	1 445,050	60.3
1981	287.1	1 437,562	57.2
1982	270.8	1 389,696	58.6

FUENTE: Departamento de Planeamiento del INDE

TABLA 3.H. DEMANDA DE POTENCIA Y ENERGIA ELECTRICA

(INDE + EGGSA)

Año	H I P O T E S I S 1				H I P O T E S I S 2			
	GWh	%	MW	%	GWh	%	MW	%
1982	1 413		274		1 413		274	
1983	1 327	-6.1	277	1.1	1 327	-6.1	279	1.8
1984	1 371	3.3	279	0.7	1 394	5.1	284	1.8
1985	1 437	4.8	288	3.2	1 491	7.0	299	5.3
1986	1 521	5.9	299	3.8	1 625	9.0	320	7.0
1987	1 607	5.7	311	4.0	1 749	7.6	338	5.6
1988	1 710	6.4	325	8.7	1 887	7.9	359	6.2
1989	1 821	6.5	345	6.2	2 027	7.4	384	7.0
1990	1 947	6.9	367	6.4	2 183	7.7	411	7.0
1991	2 080	6.8	390	6.3	2 346	7.5	440	7.1
1992	2 232	7.3	416	6.7	2 524	7.6	471	7.0
1993	2 417	8.3	449	7.9	2 744	8.7	509	8.2
1994	2 637	9.1	487	8.5	3 005	9.5	555	9.0
1995	2 843	7.8	523	7.4	3 266	8.7	600	8.1
1996	3 044	7.1	556	6.3	3 527	8.0	644	7.3
1997	3 266	7.3	597	7.4	3 802	7.8	694	7.8
1998	3 460	5.9	632	5.9	4 072	7.1	744	7.1
1999	3 671	6.1	671	6.2	4 356	7.0	796	7.0
2000	3 873	5.5	707	5.4	4 616	6.0	843	6.0
2001	4 082	5.4	746	5.5	4 886	5.8	892	5.8
2002	4 287	5.0	783	5.0	5 146	5.3	940	5.3
2003	4 496	4.9	821	4.9	5 416	5.2	989	5.2
2004	4 728	5.1	864	5.2	5 668	4.7	1 035	4.7
2005	4 896	3.6	894	3.5	5 928	4.6	1 083	4.6

FUENTE: Departamento de Planeamiento del INDE

TABLA 3.I. ALGUNOS FABRICANTES DE EQUIPO EN GUATEMALA

La presente tabla contiene los nombres de talleres que en Guatemala tienen la capacidad de fabricar algunos elementos de una Mini-hidroeléctrica.

Equipo Hidráulico y/o Mecánico:

Fundidora Bernal  
Fundidora Industrial Granados  
Talleres Granados  
Talleres J.A. Gutierrez  
Talleres J.V. Yela  
Talleres Maselli  
Talleres L. Rossi  
Talleres Ruttimann  
Talleres Witting

Equipo Eléctrico: (Principalmente rebobinado y reconstrucción de motores)

Talleres Alemanes  
Taller Eléctrico Peña  
Eléctrica Industrial W. L. Loesener  
Electro Servicio Meoño  
Rayo Eléctrico S.A.  
Electromecánica Industrial Cárdenas

TABLA 3.J. POTENCIAL HIDROELECTRICO

Potencia Inestable en MW

C U E N C A	TOTAL GENERAL	% APROVECHADO
Coatan	28	0%
Suchiate	550.4	0%
Naranjo	320.0	0%
Ocosito	159.2	0%
Samalá	238.4	0%
Ican	86.4	0%
Nahualate	338.4	0%
Atitlán	120.0	0%
Madre Vieja	88.0	0%
Coyolate	213.6	0%
Acomé	17.6	0%
Achiguate	196.0	0%
María Linda	242.2	62%
Talpetate	16.0	0%
Esclavos	212.0	6%
Paz	119.0	0%
Ostuá	99.2	0%
Olopa	4.0	0%
Motagua	1122.8	0%
Dulce	785.4	0%
Sarstún	136.8	0%
Mopan	41.6	0%
Cuilco	160.0	0%
Selegua	157.6	0%
Nenton	144.8	0%
Ixquisis	28.0	0%
Ixcán	703.4	0%
Xalcbal	327.2	0%
Chixoy	1211.2	33%
Pasión	151.2	0%
Usumacinta	866	0%
San Pedro	19.2	0%
<b>TOTAL</b>	<b>9642.2</b>	<b>5%</b>

TABLA 3.K. POTENCIAL HIDROELECTRICO

Energía Media

C U E N C A	TOTAL GENERAL $\frac{\text{GWh}}{\text{año}}$	% APROVECHADO
Coatán	122.5	0
Suchiate	2408.0	0
Naranja	1400.0	0
Ocosito	696.5	0
Samalá	1043.0	0
Ican	378.0	0
Nahualate	1480.5	0
Atitlán	314.0	0
Madre Vieja	385.0	0
Coyolate	934.5	0
Acome	77.0	0
Achiguate	857.5	0
María Linda	889.0	63%
Talpetate	70.0	0
Esclavos	927.5	6
Paz	521.5	0
Ostua	434.0	0
Olopa	17.5	0
Motagua	5901.0	0
Dulce	5680.5	0
Sarstun	598.5	-
Mopan	182.0	0
Cuilco	700.0	0
Selegua	689.5	0
Nenton	633.5	0
Ixquisis	122.5	0
Ixcan	3076.5	0
Xacbal	1431.5	0
Chixoy	5299	32%
Usumacinta	3644	0
San Pedro	1386	0
Pasión	661.5	0
TOTAL	42962	5%

#### 4. SITUACION ACTUAL DE LOS DISTINTOS SECTORES BENEFICIARIOS DE LA PRODUCCION ENERGETICA DEL PAIS.

Como se mencionó en el numeral 3.3, la Hidroenergía es uno de los mayores recursos energéticos que dispone Guatemala, siendo su importancia aun mayor con respecto a los recursos energéticos utilizables para generar electricidad. El potencial hidroeléctrico, técnica y económicamente instable según documento del Instituto Nacional de Electrificación que cuenta con información básica obtenida del Volúmen I del Plan Maestro de Electrificación Nacional (Ver Tabla 3.J); es de aproximadamente 10000 MW, de los cuales únicamente están siendo aprovechados menos del 5%.

Proyectando al año 2000 la tendencia histórica del desarrollo del sector hidroeléctrico, en los próximos 16 años sería necesario instalar más de 500 MW adicionales en plantas hidroeléctricas (según Plan de Expansión 1984-2005 del INDE). Este marco de referencia plantea un gigantesco reto financiero, tecnológico, industrial y de capacitación para el período restante del presente siglo. Este plan contempla únicamente proyectos de grandes esquemas; el presente trabajo de tesis trata de situar en este marco de referencia la alternativa que representan las minihidroeléctricas para el desarrollo energético principalmente del medio rural guatemalteco, dada la gran abundancia en recursos hídricos en pequeña escala con que contamos; se utiliza el nombre genérico de Minihidroeléctrica para llamar a aquellos esquemas comprendidos en el rango igual o menor a 5000 KW, subdividiéndolas de la siguiente forma:

- a. Microhidroeléctricas
- b. Minihidroeléctricas
- c. Pequeñas Hidroeléctricas

Si bien hay una experiencia acumulada en Guatemala que data de principios del siglo, el desarrollo de Minihidroeléctricas se han caracterizado por acciones esporádicas, aisladas y poco sistemáticas. Hace algunos

años sufrió un proceso regresivo en favor de las opciones de interconexión así como de generación por medio de grupos electrógenos térmicos y la construcción de grandes esquemas, alternativas que se aproximan a sus límites de aplicación; en el primer caso en cuanto a los elevados costos de las líneas de transmisión y de subestaciones y en el segundo en cuanto a los costos de los combustibles, mantenimiento y dificultades logísticas que cuestionan seriamente las perspectivas de instalación de grupos electrógenos en muchas poblaciones aisladas como también por el sector privado en fincas, industrias etc.

En el tercer caso se encuentran una serie de dificultades principalmente de tipo económico y financiero que hacen cada vez más difícil la implementación de grandes esquemas.

En el numeral 3.1 se mencionó cual es la clasificación de los diferentes sistemas de generación (zonificación) del país, en las tablas No. 4.A y No. 4.B se puede observar el resumen de las ventas del INDE por sistema.

Estos datos sirven para formarse la idea de cuáles son las proporciones de consumo de los beneficiarios de la generación eléctrica en el país.

A continuación y con base a los datos apuntados se hace un comentario para cada sector de consumo considerándolo como una base o marco de referencia de cuáles serían los beneficiarios en la generación eléctrica por medio de minihidroeléctricas, ya sea considerándola a nivel estatal, municipal o bien de uso privado.

#### 4.1 El Servicio Residencial:

El servicio residencial en 1982 representó un 37% del servicio eléctrico público en el país (véase tabla 4.B). Estando disponible prác-

ticamente para la mayor parte de la población capitalina y la mitad de la demás población del sistema central. En los otros sistemas, el servicio residencial alcanza a la cuarta parte de la población o menos, siendo generalmente limitado a zonas urbanas (ciudades, villas, pueblos).

Esto indica cierta falta de atención y servicio existente para aquellos poblados alejados de los centros de mayor aglomeración poblacional o de aquellos que por su difícil acceso no han sido cubiertos aún por ningún sistema. En estos puntos críticos donde actualmente debe considerarse la generación eléctrica por medio de micro y minihidroeléctricas ya sea en forma aislada o bien interconectando algunas; lógicamente utilizando un tipo de financiamiento adecuado al servicio que prestarían (ver numeral 6.5) tomando en cuenta los escasos recursos de los beneficiarios.

Según el informe estadístico del año 1982 del INDE, el consumo residencial anual por consumidor alcanza los valores de 1839 KWh en la capital, 882.30 KWh en el sistema central fuera de la capital aproximadamente 431 KWh en los demás sistemas, esta información proporciona una imagen aproximada de las necesidades del sector residencial en toda la República. En el tercer caso (demás sistemas), la cantidad mencionada corresponde más o menos con el consumo normal para iluminar, dejando suponer que la mayoría de los consumidores residenciales afuera del Sistema Central, así como también la cuarta parte de los consumidores residenciales del sistema central, utilizan el servicio eléctrico casi exclusivamente para la luz. Los demás usos del servicio residencial que toman cierta importancia en la capital y en menor grado en el resto del Sistema Central, se refiere a refrigeradoras, televisores y radios, planchas eléctricas, calentadores y bombas de agua.

Ni la calefacción eléctrica del ambiente, ni el aire acondicionado tiene aplicación apreciable en el país actualmente. Tampoco está generalizado el uso de cocinas eléctricas; los combustibles principales para la cocina son gas propano, kerosene, leña y carbón vegetal, en las áreas urbanas, así como leña y kerosene en áreas rurales. (Vease tabla 4.C).

A partir de 1970 el servicio residencial ha incrementado su costo, acercándose actualmente el 5% del ingreso medio por familia urbana en el sistema central y al 3% del ingreso medio por familia en los dos sistemas. Comparados con el costo total de la vida, los gastos del servicio eléctrico residencial, inciden en un 15% en el promedio del país. En las áreas urbanas, la incidencia varía entre un 13.27% (Puerto Barrios) y un 27.12% (Región Costa Sur), el promedio urbano siendo un 20%. En áreas no urbanas, el promedio es de 8%, la variación entre 3.8% (Región altiplano) y 29.24% (Región Izabal).

Aunque los sistemas tarifarios actuales para servicio residencial no difieren apreciablemente entre la EFGSA (Sistema Central) y el INDE (demás sistemas), el costo medio por KWh en 1982 era de aproximadamente de 14 c/KWh, ésto nos da una idea de el tremendo escalamiento del costo de este servicio en apenas 10 años, pues en el año de 1973 el precio medio del servicio residencial era de aproximadamente 6 c/KWh.

Lo expuesto anteriormente nos proporciona una idea de la difícil situación que atraviesa el servicio residencial, en el cual la demanda tiene un constante aumento en los sectores cubiertos y es grande y con resultados fácilmente predecibles en los no cubiertos.

Debe considerarse a las minihidroeléctricas como un posible paliativo aparte de estas necesidades, pues si bien el nivel del consumo residencial puede considerarse como una consecuencia o indicador de cierto nivel de vida, la disponibilidad del servicio eléctrico, permitiendo iluminación, cocción de alimentos, calentamiento de agua, comunicación y otros usos domésticos y artesanales, es un determinante significativo de las condiciones de vida de la población.

La popularización de la cocina eléctrica podría tener efectos apreciables y beneficiosos tanto con respecto a la economía del petróleo y sus aplicaciones a la balanza de pagos, como en lo que se refiere a la

tala de los bosques y el equilibrio ecológico del país. Ya sea para los sistemas vigentes y la eventual implementación de minihidroeléctricas en el medio rural, en la figura 4.1 se puede apreciar un tipo de cocina óptimo para la utilización popular de bajo costo y fácil construcción, éste ha sido utilizado con éxito por el Grupo de Desarrollo de Tecnología Intermedia (ITDG, siglas en inglés), que impulsa por medio de financiamiento y asistencia técnica la implementación de minihidroeléctricas piloto en países en desarrollo como Nepal, India, Tailandia, Sri Lanka, Kenia y Colombia. Este tipo de cocina consume aproximadamente 200 W en forma continua, en promedio se les da un uso de 6 horas diarias; y puede ser la solución para las necesidades de poblaciones con muy limitadas posibilidades económicas.

#### 4.2 El Servicio Industrial

El servicio industrial en los últimos cinco años, representó en promedio un 44% del servicio eléctrico público en el país, siendo este el grupo de consumidores con el mayor consumo de energía, ver tabla 4.D. Más del 80% de los consumidores industriales del país están ubicados en el Sistema Central, y más del 60% en la capital. Los consumidores industriales del Sistema Central en promedio, tienen un consumo por unidad de producción casi de diez veces mayor que los demás sistemas. Esto resulta en una concentración de más del 90% del consumo industrial suministrado en los últimos cinco años en el sistema central.

Del servicio industrial suministrado en los últimos años en el Sistema Central, el 25% se suministró en baja tensión, el 75% en alta tensión. Aproximadamente en el año de 1975 el mayor consumidor industrial (fábrica de cemento), consumió el 15% del servicio industrial total suministrado en el sistema central, esto fue antes de contar con una planta generadora propia.

Los renglones industriales nacionales con la mayor incidencia de

la energía eléctrica en sus costos de producción han sido las que se indican en la tabla 4.F.

En las demás industrias del país, la energía eléctrica influye en menos del 5% en los costos de producción. (Se estima que la energía del bombeo influye en cerca del 50% en los costos de servicio de agua para la capital. Esta energía, sin embargo, se clasifica como servicio municipal, con excepción de algunos servicios particulares de agua, los cuales se clasifican como servicio industrial).

Como parámetro de comparación, la tarifa media del servicio industrial en 1973 alcanzó los valores de 2.44¢/KWh en el Sistema Central y 3.23¢/KWh en promedio de los demás sistemas. En el Sistema Central, la tarifa media subió hasta 1983 en un 474%, alcanzando aproximadamente los 14¢/KWh. El servicio industrial contribuye al beneficio del Sistema Central, con el que se cubren las pérdidas del servicio residencial y los demás sistemas.

La disponibilidad de un servicio industrial abundante, confiable y económico, podría tener importantes efectos de sustitución de combustibles importados (derivados del petróleo), con los siguientes beneficios para la balanza de pagos y reserva de divisas del país. Esta sustitución podría tener un mayor efecto con referencia a la autogeneración de electricidad con base a motores diesel y en aquellas industrias donde actualmente el combustible tiene una alta incidencia en los costos de producción. (Ver tabla 4.F).

Las tasas históricas de crecimiento anual del consumo industrial, las cuales se colocan alrededor del 12%, podrían verse aumentadas por tal efecto de sustitución.

#### 4.3 El Servicio Comercial:

El servicio comercial cubre establecimientos del sector terciario,

incluyendo tiendas, oficinas, bancos, hoteles, restaurantes, clínicas, centros de educación, investigación y actividades culturales, etc.; con excepción de aquellos adscritos a la administración pública. El 30% del servicio comercial se concentra en el sistema central (Tabla 4.G). El Sistema Central en 1984 tenía aproximadamente 50000 consumidores comerciales en baja tensión.

Con un 25% de participación en el servicio eléctrico público del país, el servicio comercial ocupa el tercer lugar después de los servicios industrial y residencial; cuenta con una tasa de crecimiento de aproximadamente el 12% encontrándose entre los más altos del sector eléctrico.

Como ejemplo de los renglones de utilización podemos mencionar la iluminación requerida en casi todas las actividades del sector, la operación de equipos e instrumentos, tratamiento médico, refrigeración y cocción de víveres y bebidas, equipos de control, comunicación y ordenamiento.

El costo medio del servicio comercial en el Sistema Central en el año 1973, alcanzó los valores de 4.3¢/KWh en baja tensión y 2.7¢/KWh en alta tensión, llegando a principios de 1984 a un promedio de 13.0¢/KWh.

#### 4.4 Servicios Municipal, de Gobierno y Alumbrado Público:

Los servicios oficiales y alumbrado público representan aproximadamente el 15% del servicio eléctrico público del país, con una tasa moderada del 6 al 8% de incremento anual. Las mayores categorías en estos sectores la representan, en orden de importancia, el bombeo de agua potable para la capital, las dependencias del Gobierno Central, las dependencias municipales y el alumbrado público.

Aproximadamente la mitad del servicio de suministro en el año 1973 en alta tensión a un costo medio entre 1.6¢/KWh y 2.6¢/KWh a principios de 1984 oscilaba el costo/KWh de la siguiente forma:

Gobierno	13.50 ¢/KWH
Municipal	12.00 ¢/KWH
Alumbrado Público	11.00 ¢/KWH

Mientras que servicio público en general cubre sus costos, el alumbrado público es fuertemente deficitario.

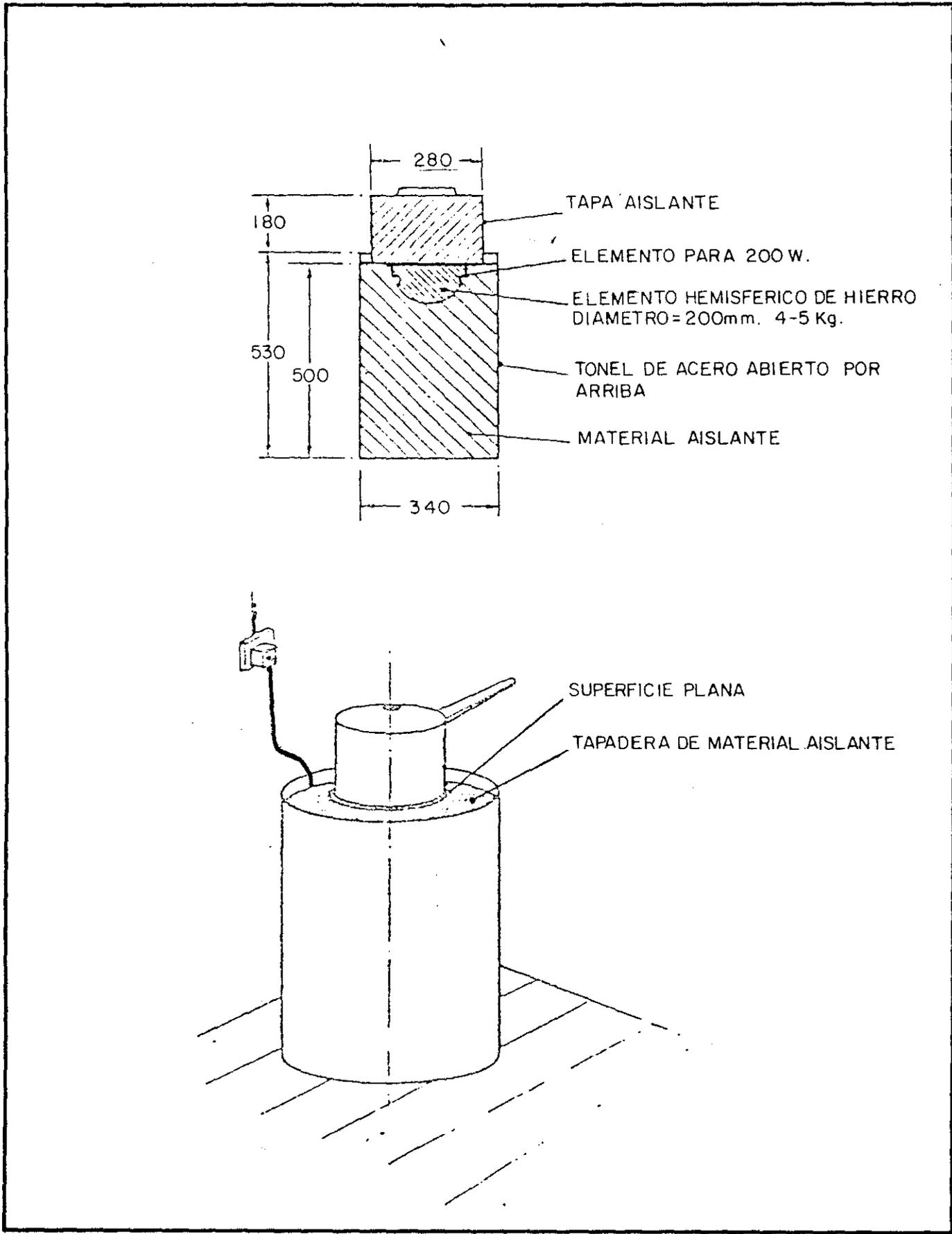


Fig. 4.1 Prototipo de estufa eléctrica para el medio rural.

TABLA 4.A. RESUMEN DE VENTAS DE ENERGIA DEL INDE POR SISTEMA,  
SEGUN FORMA DE VENTA Y SECTOR DE CONSUMO

SISTEMA	TOTAL	EN BLOQUE	A L D E T A L L E							
			TOTAL	RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL MENOR	INDUSTRIAL MAYOR	GOBIERNO	MUNICIPAL	ALUMBRADO PUBLICO
<u>VENTAS DE ENERGIA ( M W H )</u>										
CENTRAL	641272	641272	0	0	0	0	0	0	0	0
OCCIDENTAL	98685	35981	62704	27147	7580	4164	15623	2698	1830	3662
ORIENTAL	74085	10610	63475	17555	5874	1623	31813	1622	1523	3465
NORCENTRAL	10496	0	10498	5959	892	356	1022	766	115	1388
ATLANTICO	18080	9276	8804	2471	1099	224	3832	738	62	378
PETEN	3118	0	3118	1558	266	83	14	599	223	370
TOTAL SISTEMAS	945738	697139	148599	54690	15711	6455	52304	6425	3753	9265

FUENTE: Unidad de Planificación Económico-Financiera del INDE 1982

NOTA: Se considera como industrial menor los consumos menores a 50 KW de demanda, y como industrial mayor los mayores a 50 KW.

TABLA 4.B. RESUMEN ANUAL DE VENTAS AL DETALLE POR SECTOR DE CONSUMO

SECTOR DE CONSUMO	No. CONSUMIDORES	CONSUMO (KWH)	CARGOS (Q.)	PRECIO PROMEDIO C/KWH	KWH/CONS/MES	VATIOS INSTALADOS ALUMBRADO PUBLICO
RESIDENCIAL	133984	54689276	7648392	13.99	34.01	0
COMERCIAL	10292	15710874	1946823	12.39	127.21	0
INDUSTRIAL	568	6455497	1048507	16.24	947.11	0
INDUSTRIAL	111	52303956	7621809	14.57	39267.23	0
GOBIERNO	1580	6424614	857150	13.34	338.85	0
MUNICIPAL	1050	3753485	443036	11.80	297.90	0
ALUM. PUB.	500	9262418	984568	10.63	1543.74	1869989
TOTAL	148085	148600120	20550285	13.83	83.62	1869989

FUENTE: Unidad de Planificación Económico-Financiera del INDE 1982

TABLA 4.C. INCIDENCIA DE GASTOS DE COMBUSTIBLE Y ENERGIA  
ELECTRICA EN LOS COSTOS DE LA VIDA EN GUATEMALA

(En o/oo de gastos totales)

	Areas Urbanas	Areas No Urbanas	Total República
Energía Eléctrica	20.0	7.1	13.5
Combustibles, Total	<u>29.0</u>	<u>91.5</u>	<u>60.0</u>
Gas Propano	10.0	----	5.00
Kerosene	7.1	11.5	9.25
Leña	7.5	80.0	43.0
Carbón Vegetal	4.4	----	2.75

FUENTE: "Costo de la vida" Universidad de San Carlos de Guatemala,  
IIES, Estudios Monográficos

TABLA 4.E. INCIDENCIA DE LA ENERGIA ELECTRICA EN ALGUNOS  
COSTOS DE PRODUCCION EN GUATEMALA

---

Productos de arcilla para construcción	23.3%
Pulpa de madera, papel y carbón	21.5%
Cemento	19.0%
Productos químicos industriales, abonos	7.6%
Productos derivados del petróleo y carbón	9.1%
Productos de metal, excepto maquinaria y equipo de transporte	7.4%

---

FUENTE: "Políticos de Desarrollo del Sector de Energía"  
Secretaría de Planificación

TABLA 4.F. INCIDENCIA DE LOS COMBUSTIBLES EN ALGUNOS  
COSTOS DE PRODUCCION EN GUATEMALA

---

Cemento	34%
Envase y Conservación del pescado y otros	30%
Vidrio y sus productos	22%
Productos de Arcilla para construcción	15%

---

FUENTE: "Políticas de Desarrollo del Sector Energía."

## 5. CARACTERIZACION DE MINIHIDROELECTRICAS:

Una Minihidroeléctrica está constituida por una serie de elementos, tanto de obra civil como de equipo hidráulico y electromecánico (grupo turbina-generador), por medio del cual se convierte la energía del agua en energía mecánica y luego en energía eléctrica.

Es muy importante considerar que una minihidroeléctrica es algo más que una gran central hidroeléctrica en pequeño; es decir, que debe tratarse de observarla como lo que es y sin la influencia de conocimientos y criterios existentes sobre las grandes hidroeléctricas aunque guarden semejanza.

Este capítulo persigue dar al lector, además de una descripción del equipo y elementos de la obra civil, otros conceptos básicos relacionados con el tema.

Las minihidroeléctricas pueden ser de dos tipos:

- a. Minihidroeléctricas de agua corriente.
  - b. Minihidroeléctricas de agua embalsada.
- a. Las Minihidroeléctricas de agua corriente:

Se construyen en los sitios en donde la energía hidráulica disponible se puede utilizar directamente para accionar las turbinas, y en donde de no existir la central ésta energía se desperdiciaría. (Ver gráfica 5.1). Es de considerar que el caudal de un río es variable durante las diferentes estaciones del año y además hay años de sequía y años de abundancia de agua.

Se puede construir para el mínimo caudal disponible, pero entonces en la época de abundante caudal el exceso se desperdicia; y por el con-

trario, se puede construir para el máximo caudal disponible, pero en las épocas de escasez de agua, la minihidroeléctrica trabaja con poca carga y por lo tanto con pérdidas. Lo más recomendable es utilizar una solución intermedia entre estos dos extremos.

b. Las Minihidroeléctricas Embalsadas:

Utilizan un embalse artificial en donde se acumula el agua por medio de una presa para poder ser utilizada posteriormente según las necesidades de generación. (Ver gráfica 5.2). La presa debe ser construida en lugares apropiados del río. (Por ejemplo en sitios angostos y márgenes rocosas). Dentro de esta clasificación existen diferentes arreglos, pudiendo realizarse combinaciones de ellos en utilización de varias caídas en un río, lo que significa varias minihidroeléctricas en serie con mayor producción y provecho de energía. (Ver gráfica 5.3).

Los dos arreglos más comunes son los siguientes:

b.1 Minihidroeléctricas con Canal de Derivación:

Puede ser de agua corriente o de agua embalsada; en este caso, la presa debe ser diseñada para resistir mayores presiones, ya que el empuje del agua es mucho mayor (Ver gráfica 5.4); constando de los elementos siguientes:

1. Presa
2. Canal de Derivación
3. Cámara de Presión
4. Tubería de Presión
5. Minihidroeléctrica (Central)
6. Tubería de Desague (retorno al cauce)
7. Subestación

## b.2 Minihidroeléctricas con Galería de Presión:

Según las ideas actuales para el máximo aprovechamiento de cauces que en toda época tienen corriente, este parece ser el más indicado. En este caso, el tanque de oscilación va sustituyendo a la cámara de presión, siendo la función más importante del mencionado tanque de oscilación el de amortiguar el golpe de ariete aguas abajo (Ver gráfica 5.5.); compuesta de los siguientes elementos:

1. Presa (Embalsa las aguas de la época de abundancia y regulariza la corriente)
2. Galería de Presión
3. Pozo de Oscilación (Chimenea de Equilibrio)
4. Tubería de Presión
5. Minihidroeléctrica (Central)
6. Canal de Desague (retorno al cauce)
7. Subestación

### 5.1 Turbinas (Equipo Hidráulico):

Es una máquina hidráulica que convierte la energía del agua en energía mecánica. A continuación, una breve descripción de los distintos tipos utilizables:

#### 5.1.1 Turbina Pelton: (Figura 5.9)

Lleva el nombre de L.A. Pelton, quien en 1880 empleó la arista central en el cangilón. Alrededor de 1900, Alcner Doble fue el primero en concebir la forma doble elíptica de los cangilones con la escotadura para el paso libre del chorro que impulsa aún al cangilón anterior y la regulación del caudal por medio de la aguja.

El funcionamiento característico de este tipo de máquina es el siguiente:

El agua, bajo la forma de un chorro libre, choca contra las cucharas dispuestas en la circunferencia de un disco y se desvía hasta 160 grados, así cediendo su energía cinética al rodete. Existen con potencias de 0.5 hasta 260,000 KW y que operan bajo saltos de 2.20 hasta 1,260 metros, lo cual ilustra el amplio campo de aplicación de estas turbinas.

Según lo anterior, es una máquina de impulso con chorro libre; de acción, flujo tangencial, o sea que el agua tiene una dirección casi tangente al rodete al momento de darle impulso a este, el chorro impulsor puede ser suministrado por una o más toberas, al final de las cuales se regula por medio de un inyector comúnmente de aguja.

El rodete está provisto de varias cangilones; por lo general, el conjunto es de acero inoxidable fundido en una sola pieza. Los cangilones deben ser trabajados con mucha precisión y controlados con plantillas. Es imprescindible la exactitud de la forma, ya que pequeñas imperfecciones ocasionan pérdida de rendimiento con riesgos de erosión temprana.

Durante la etapa de planeamiento de minihidroeléctricas que aprovechan saltos de gran altura, con frecuencia se debe decidir si se instala turbinas Francis o Pelton; el rango de aplicación de éstas últimas está delimitado a velocidades específicas bajas; cabe decir que aprovecha los grandes saltos y caudales reducidos, pudiendo obtenerse eficiencias del orden de 85%.

Tanto en la Pelton como en los demás tipos de turbinas, existe un incremento constante de la potencia unitaria, habiéndose sobrepasado al presente los 300 MW. Factores determinantes para la elección final entre los distintos tipos de turbinas son entre otros:

- El espacio requerido
- Velocidad de Rotación
- Condiciones Hidráulicas
- Rendimientos
- Costos
- Calidad de agua
- Disponibilidad
- Mantenimiento, etc.

Para el dimensionamiento de las turbinas Pelton, debe tomarse las siguientes consideraciones; cuanto más alto sea el salto  $H$ , más baja debe de elegirse la velocidad específica del rodete Pelton; este hecho trae en consecuencia, un aumento de la relación entre el diámetro de acción del chorro  $D_1$  y el ancho  $B_2$  de la cuchara a medida que aumenta el salto.

La disposición de la turbina puede ser ya sea horizontal o vertical, esto se relaciona al eje de la misma. La disposición del eje horizontal permite que el generador sea accionado por uno o dos rodetes, cada rodete es accionado por uno o dos chorros, los rodetes pueden situarse a uno o a ambos lados del generador. Cuanto mayor sea el número de chorros en que pueda dividirse un caudal dado, mayor podrá elegirse la velocidad de rotación y más económico resultará el generador. Un grupo de dos rodetes resultará de menor costo que dos grupos de un rodete con igual potencia total.

La disposición horizontal es la que se utiliza para instalaciones de centrales minihidroeléctricas, o sea para pequeñas potencias; además presenta la ventaja de un rápido y sencillo montaje y desmontaje del rodete para su revisión.

### 5.1.2 Turbina Francis: (Figura 5.9)

Es una máquina de reacción (que opera llena de agua), empleada para caídas medias-altas, su aplicación está delimitada a velocidades específicas medias operando con caudales medianos, teniendo una eficiencia entre 83% y 90%.

Es el mejor ejemplo para plantas de caída mediana; su instalación se puede realizar con el eje horizontal o vertical. Según sea la carga o altura, se puede elegir entre varios tipos de rodetes; es decir, lentos, normales, rápidos y extra rápidos; denominación que se basa en la velocidad específica y no en la velocidad angular; además de haber diferencias por la forma. El rodete normal tiene en la entrada un diámetro  $D_1$  ligeramente mayor que el de salida  $D_3$ , el agua atraviesa el rodete, desviándose de la dirección radial a la axial con la cual entra al tubo de aspiración.

En los rodetes Francis lentos, la diferencia entre  $D_3$  y  $D_1$  y el cambio de dirección del chorro son mucho más pronunciados; con los rodetes rápidos se obtienen velocidades de operación más altas para el mismo salto.

<u>Turbina Francis Rápida</u>	<u>Turbina Francis Lenta</u>
i. Sección de Entrada Estrecha	i. El entrehierro es grande
ii. Diámetro de salida es pequeño, mientras el de entrada es grande.	ii. Diámetro de entrada es pequeño, el de salida es grande.
iii. Flujo radial-axial.	iii. Flujo casi axial.
iv. Se utiliza en caídas grandes.	iv. Se utiliza en caídas pequeñas.

El principio de operación de la turbina Francis es el siguiente:

El agua procedente de la tubería entra en la cámara espiral pasando luego al distribuidor poniendo en movimiento el rodete transformando

la energía hidráulica en energía mecánica que se transmite por el eje de la turbina, luego de este proceso, el agua sale por el tubo de desfogue al canal aguas abajo de donde pasa al cauce propio del río.

La carcaza tiene una forma de espiral y convierte la energía de presión en energía de velocidad debido a un cambio gradual de áreas; a la vez que alimenta en forma uniforme toda la periferia del rodete. Mientras que la carcaza de la turbina Pelton no efectúa ningún trabajo, la de la turbina Francis sí lo hace, encontrándose sujeta a presión, razón por la cual debe tener una resistencia mecánica mucho mayor.

Los materiales usados en su fabricación son: hierro para saltos pequeños, y acero fundido o lámina de acero soldada para saltos mayores.

El distribuidor es una corona con álabes, ya fijos o móviles, dispuestos en la periferia del rodete entre ésta y la espiral, teniendo las siguientes funciones:

- i. Guiar el agua en dirección más conveniente a los álabes del rodete para obtener una óptima eficiencia.
- ii. Regular el gasto que penetra al rodete.
- iii. En caso de emergencia puede servir como válvula.

Hay turbinas Francis para uso vertical y para uso horizontal.

### 5.1.3 Turbina de Flujo Transversal: (Figura 5.8)

Es una turbina de acción de flujo transversal y de admisión parcial que se usa generalmente en aquellos proyectos de minihidroeléctricas donde se utiliza un salto y un caudal medio para satisfacer la demanda de un sistema eléctrico que cuenta con un diagrama de carga diaria con un factor de carga inferior a 0.50. Su rango de aplicación se encuentra dentro del rango de aplicación de la turbina Francis, a la cual supera en eficien-

cia cuando la turbina opera la mayor parte del tiempo a carga parcial, lo cual es típico en proyectos de minihidroeléctricas donde la turbina absorbe la variación de carga diaria de la demanda. Otra ventaja de la turbina de Flujo Transversal con respecto a la turbina Francis lo constituye su bajo costo y relativa sencillez de fabricación. En la actualidad, la Turbina de Flujo Transversal más utilizada es la conocida como Michell - Banki.

El origen de esta turbina se remonta a principios del siglo, cuando el Ingeniero A.G. Michell desarrolló, en 1903, la turbina de Flujo Transversal de doble paso, la cual fue estudiada en la Universidad de Budapest por D. Banki en el año de 1918. En 1933, el Ingeniero Alemán Fritz Ossberger, desarrolló la turbina que denominó Cross-Flow, que era de flujo transversal con un mejor diseño que la desarrollada por Michell y estudiada por Banki. Posteriormente en 1938, se introdujo en el diseño del inyector de esta turbina, la pala giratoria como dispositivo director. En 1948, por primera vez se diseña esta turbina con la posición del inyector en forma horizontal. En los años siguientes y hasta la fecha, se conocen diversos estudios respecto a esta turbina a la cual se le ha denominado tales como: Turbina Michell-Banki, Turbina Michell, Turbina Banki, Turbina de Flujo Transversal o Cross Flow y en el caso de la Alemana Ossberger; Turbina Michell-Ossberger. Todas estas turbinas tienen el mismo principio de funcionamiento que fue desarrollado por Michell y estudiado por Banki, pero diferenciándose en sus diseños de detalle.

Con respecto a este tipo de turbinas, actualmente se desarrollan estudios por diversas instituciones, pues es de hacer notar que presenta una de las mejores perspectivas de utilización en minihidroeléctricas por su simplicidad de diseños y fabricación, su buena eficiencia cuando opera a cargas parciales y su reducido costo de fabricación y mantenimiento. De acuerdo a experiencias obtenidas con la Michell-Banki, se deduce que puede operar con saltos máximos comprendidos entre 100 y 200 metros, con eficiencias máximas comprendidas entre 80% y 85% y puede generar potencia máxima comprendida entre 750 y 1,000 KW.

De la tabla 5.A., se observa que el rango de aplicación de esta turbina se traslapa con el rango de aplicación de las turbinas Francis - Lentas y Normales; esto mismo se puede observar en la figura 5.12 donde se muestra un gráfico para seleccionar tipos de turbinas.

La turbina Michell-Banki se puede utilizar en todos los proyectos de minihidroeléctricas donde el diagrama de carga diario posea un factor de carga inferior a 0.5 y donde los parámetros de diseño, potencia y salto estén comprendidos en el área de aplicación de esta turbina.

#### 5.1.4 Turbinas de Flujo Axial:

Son turbinas de reacción que como su nombre lo indica, trabajan con flujos axiales a su eje de giro; pudiendo tener su sistema de regulación de velocidad incorporado en el rodete, en el caso de la variante -- Kaplan.

Su rango de aplicación está limitada a velocidades específicas bastante altos, operando en saltos muy pequeños y grandes caudales y pudiendo alcanzar eficiencias de hasta 90%.

A continuación, una descripción de el tipo de turbina más representativa de Flujo Axial:

Turbina Kaplan: (Figura 5.9)

Como ya se dijo, es de reacción y totalmente axial; es una turbina de hélice con álabes móviles que fue la modificación introducida por el profesor Kaplan, se utiliza para grandes caudales con saltos pequeños y algunas veces medianos; siendo sus características esenciales para esto las siguientes:

- Dimensiones reducidas
- Velocidad relativamente elevada

- Rendimientos altos con cargas variables
- Notable capacidad para sobrecargas.

El rodete cuenta con solamente unos pocos álabes dispuestos en sentido radial y sin corona exterior y el agua los atraviesa en sentido axial, los álabes tienen un perfil hidrodinámico con pocas curvas que disminuye las pérdidas y transmite mayor velocidad del agua, permitiendo dar menores dimensiones al rodete, con lo que se logran velocidades mayores que sobrepasan el doble de las Francis de carga baja; reduciéndose el costo y tamaño de los generadores, las ventajas de los álabes móviles son los elevados rendimientos a cargas parciales y la posibilidad de sobrecargar la turbina.

La turbina Kaplan presenta así una característica de rendimiento, que es el conjunto de los puntos máximos de una infinidad de características de las turbinas de hélice, ello explica porqué los rendimientos con carga parcial son tan elevados.

En saltos pequeños la entrada del agua a la turbina se efectúa a través de una cámara abierta o bajo presión. En este último caso, la cámara se construye de concreto; para saltos más elevados la carcasa se hace de chapa de acero en forma parecida a las carcasas Francis.

El generador está montado en la parte superior de la turbina, en una cota superior a las crecidas para protegerlo. Sobre la cruceta del generador se coloca casi siempre, además de la excitatriz, el cojinete de suspensión, el cual debe soportar la carga axial de todas las partes móviles, incluyendo el empuje hidráulico. Las flechas de la turbina y del generador deben ser huecos para poder alojar todos los elementos de regulación que accionarán los álabes del rodete situados en el cubo de la turbina.

Cuando el agua deja el rodete tiene todavía una velocidad muy elevada y por consiguiente, alta energía cinética que si se perdiera reduciría considerablemente la eficiencia. Para recuperar la mayor parte de dicha energía, se usa un tubo de aspiración o desfogue cuidadosamente estudiado, cuyo objetivo es:

- Convertir la energía de velocidad con que el agua abandona el rodete en energía de presión.
- Permite obtener una presión menor (vacío) que la atmosférica que ayuda al flujo y aumenta la carga de trabajo de la turbina.
- Evita que el agua salga directamente a la atmósfera, regulando la salida y permitiendo que se instale la turbina a un nivel más alto que aguas abajo.

La forma más apropiada para este tubo es la de un codo de sección variable.

#### 5.1.5 Turbinas Tubulares o Bulbo: (Fig. 5.6 y 5.7)

El miembro más nuevo de la familia de las turbinas hidráulicas es la tubular o "Grupos Bulbo", que son turbinas hélice de eje horizontal, cuyo distribuidor y álabes pueden ser fijos o móviles. Han surgido para cubrir en parte el campo de utilización de las turbinas Kaplan clásicas, con cámara espiral y tubo de desfogue acodado, pues resultaban demasiado onerosas para caídas muy bajas.

Presentando las siguientes ventajas sobre las Turbinas Kaplan:

- Por el trazado de la tubería de entrada se logra una menor circulación a la entrada del rodete, obteniéndose un mayor rendimiento.

- El rendimiento de un tubo de desfogue recto es mejor que el de uno acodado.
- La potencia, específica característica, es mayor para ruedas del mismo tamaño.

Por supuesto tiene inconvenientes entre los que se puede citar:

- Su costo sube cuando la carga decrece. Actualmente, su campo de aplicación se extiende desde caídas muy bajas (menos de 1 metro) hasta las de 15 metros.

La potencia unitaria de los bulbos está limitada por las posibilidades de enfriamiento del alternador. En las minihidroeléctricas, el generador de 1 m. a 1.50 m. se encuentra sumergido en aceite, mientras que los de los grandes grupos tienen el interior del bulbo lleno de aire comprimido.

Profundizando en las turbinas bulbo para minihidroeléctricas, están reservados a potencias bajas (inferior a 1,500 CV) y pequeñas caídas (menos de 10 m.). El diámetro del rodete fluctúa de 1.00 a 2.00m., constituyendo un conjunto de una pieza que comprende una turbina hélice que acciona directamente un generador asincrónico. Este se encuentra encerrado en un bulbo hermético, con perfil hidrodinámico. El aceite, además de servir para el enfriamiento, lubrica los cojinetes, aísla el estator y sella todo el conjunto contra entradas de agua por encontrarse a una presión ligeramente mayor.

En la gráfica 5.6 presentan tres casos de grupos tipo bulbo "Hydrolec", desarrollados por Moteurs Leroy-Somer de Francia, los cuales representan ejemplos clásicos de estas turbinas; los cuales se describen a continuación:

- En el funcionamiento Vertical, el grupo funciona mientras el nivel del río arriba queda por encima del borde inferior de la campana de admisión (7); la cual provoca un sifón autocebante; el nivel HP indica el punto donde la cebadura es total, el arranque se provoca cerrando la válvula K1, el aire aprisionado sale en dos etapas, inicialmente con el agua a través de la turbina y la parte que queda arriba de la campana sale por la chapa anti-retorno K2.  
La descebadura ocurre al entrar aire en la campana, ya sea por baja en el nivel del río o por la válvula K1 al ser abierta.
- En la posición Inclínada, la turbina funciona al abrir la compuerta, lo cual mantiene alimentada la cámara de agua; al cerrar la compuerta el grupo deja de funcionar.
- Disposición bastante interesante es la colocación de estos bulbos dentro de un Sifón para las caídas muy bajas; tal ordenamiento es extremadamente económico, debido a la supresión de todas las compuertas de protección, pues el corte de corriente está provocado por el vaciado rápido del sifón por medio de una válvula de entrada de aire.

## 5.2 Equipo Electromecánico:

### 5.2.1 Regulador de Velocidad o Gobernador:

Cuando la minihidroeléctrica se encuentra en funcionamiento, si se produce requerimiento de energía por parte del utilizador (ya sea aparatos, lámparas etc.), la frecuencia baja y el regulador interviene eliminando el equivalente de la potencia absorbida por las resistencias, de esta manera el regulador procura una carga total constante a la generatriz. De la misma manera en caso de un cambio de los parámetros hidráulicos (caudal o altura

de la caída) la velocidad de la generatriz varía; en ese caso el regulador mantiene la máquina a su velocidad nominal, cargando o descargando la generatriz por las resistencias. Se pueden mencionar los siguientes tipos de reguladores de velocidad:

a. Eléctrico-Electrónico con Regulación de Flujo:

Está formado por un dispositivo electrónico, encargado de captar la variación de velocidad de la turbina, en base a la variación de frecuencia de generación que ocurre al presentarse una variación de carga y un motor eléctrico que acciona un mecanismo produciendo la apertura o cierre de la válvula reguladora de flujo de la turbina al girar en un sentido u otro.

b. Oleo Mecánico: (Con regulación positiva de flujo)

Está formado por un órgano sensible a la variación de velocidad que generalmente es un péndulo centrífugo, un órgano de distribución y fuerza provisto de una válvula distribuidora de aceite a presión y un servomotor, un sistema de compensación y retroceso cuyo objeto es dar estabilidad a la velocidad del grupo; una bomba de engranaje o paletas deslizantes y dispositivos de maniobra para accionar la válvula reguladora de caudal de la turbina.

c. Eléctrico-Electrónico con disipador de Energía:

Formado por un dispositivo electrónico, encargado de captar la variación de velocidad de la turbina en base a la variación de frecuencia de generación que ocurre al presentarse un cambio de carga y un sistema de resistencias eléctricas que aumentan o disminuyen la carga a la turbina, trabajando ésta siempre con plena apertura.

### 5.2.2 Generador:

Máquina eléctrica que convierte la energía mecánica en energía eléctrica; la energía mecánica es producida por la rotación de la turbina. El generador puede ser de tipo convencional con excitatriz y regulador automático de voltaje externo, o puede ser del tipo sin excitatriz con regulación de voltaje interna. Cuando se operan varias unidades sincronizadas se debe tener cuidado de que los reguladores estén compensados para ésta clase de trabajo.

Tipos de generador utilizado:

#### a. Generador Sincrónico o Alternador:

Son generadores sincronicos diseñados con regulador de tensión y refuerzos en las bobinas para que tengan la capacidad de soportar velocidades de embalamiento de la turbina. Por razones económicas en minihidroeléctricas, se recomienda el uso de alternadores de 2 ó 4 polos.

#### b. Generador Asincrono o de Inducción:

Son motores de inducción que trabajan en forma invertida; operando como generadores en forma autónoma o en paralelo con un alternador. O sea que existe la posibilidad de utilizar motores eléctricos ya existentes mediante pequeñas adaptaciones.

### 5.2.3 Transformadores:

Equipo eléctrico para variar la tensión (voltaje), permitiendo así el transporte de la energía en forma económica. Es un aparato estacionario que convierte la energía eléctrica de un circuito a energía eléctrica de la misma frecuencia en otro circuito.

Constando de tres elementos principales: Un embobinado primario (conectando a la red de alimentación), embobinado secundario (que proporciona energía a la carga) y un núcleo que acopla magnéticamente estos embobinados. Para reducir las pérdidas al mínimo, se debe escoger el voltaje adecuado utilizando transformadores.

Los tipos de transformadores utilizados en Minihidroeléctricas:

a. De Potencia: (De voltaje constante)

Son los más utilizados, ya que son los que sirven para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su relación de voltaje es relativamente constante, pudiendo dar corrientes muy variables según la demanda.

b. De Medición:

Como su nombre lo indica, sirven para la medición de corrientes y voltajes altos, que no podrían ser medidos directamente por instrumentos nomales. Son transformadores de precisión que tienen una relación constante, ya sea de voltaje o corriente según el caso. O sea que van conectados a instrumentos corrientes, debiendo multiplicarse su lectura por un factor de relación correspondiente; además de la medición de valores altos de corriente, estos permiten también aislar los instrumentos de la alta tensión, evitando así peligro en los tableros al alcance de la mano.

#### 5.2.4 Sistemas de Protección:

Elemento de mucha importancia para la seguridad del equipo eléctrico de una minihidroeléctrica; pues controla las posibles fallas en el sistema, evitando de ésta manera daños principalmente en aquellos casos donde no es posible tener personal encargado de esta función.

En los viejos grupos generadores diseñados para sistemas aislados, no se tenía previsto la desconexión automática en caso de una emergencia. Este sistema debe ser incorporado para prevenir "Sobrevelocidades" en el generador por distintas circunstancias.

En minihidroeléctricas aisladas se recomienda el uso de los siguientes sistemas de protección:

a. Para Turbinas:

Altas temperaturas en el eje, fallas mecánicas, fallas en el regulador de velocidad, pérdidas en la presión del aceite.

b. Para Generadores:

Sobrevelocidades, altas temperaturas en el eje, sobrevoltajes, fuerza en sentido opuesto al de giro normal, punto neutral de voltaje, corto circuito, falla del sistema de puesta a tierra.

c. Auxiliares:

Fallas en el control de voltaje, protección y control de circuitos.

5.3 Sistema de Transmisión de la Energía Eléctrica:

El sistema de transmisión / distribución de la energía eléctrica comprende todas las instalaciones necesarias para conducir la energía eléctrica desde la minihidroeléctrica (estación generadora) hasta el consumidor de la misma; según su intención tenemos las siguientes instalaciones:

a. Estación Generadora (Minihidroeléctrica)

b. Patio de Transformadores

- c. Línea de Transmisión Primaria
- d. Subestación reductora, en algunos casos
- e. Línea de distribución o red secundaria (acometida)

La línea de transmisión de energía eléctrica comprende:

- a. Cables
  - Conductores.
  - de protección o de guarda.
- b. Soportes
  - Aisladores, herrajes y demás accesorios.
  - Postes o Torres.

5.3.1 Requerimientos básicos para el diseño de la Línea de Transmisión:

- a. Estudio Preliminar.
- b. Selección del Voltaje.
- c. Localización Preliminar.
- d. Localización Topográfica.
- e. Selección de conductores.
- f. Selección de Soportes y espaciamiento entre ellos.
- g. Lista de accesorios y materiales completos.
- h. Análisis de costo estimado.

#### 5.4 Criterios para Selección del Equipo: (Figura 5.13)

Atendiendo la importancia que tiene el procedimiento de selección del equipo, esta debe realizarse en base a los requerimientos hidrológicos como topográficos, debiendo realizarse en base a los catálogos comerciales proporcionados por los fabricantes de equipos.

Asimismo, los criterios de selección deben ser orientados principalmente al uso de equipos confiables del menor costo posible y de preferencia estandarizados.

A continuación se detalla un procedimiento para seleccionar los diversos equipos usados en minihidroeléctricas:

##### 5.4.1 Turbina:

- |                              |            |
|------------------------------|------------|
|                              | - Salto    |
| Parámetros para la selección | - Caudal   |
| de Turbinas.                 | - Potencia |

Dadas las características de las turbinas explicadas en este capítulo, numeral 5.1 y conociendo el número de revoluciones de giro del generador a utilizar, se asume el número de revoluciones de la turbina y se determina el tipo de turbina más adecuada; a continuación dos métodos para la determinación de la velocidad específica:

- a. Las velocidades específicas  $N_s$ , se muestran en la tabla 5.B.

El cálculo de la velocidad específica esta dado por:

$$N_s = N \frac{P^{1/2}}{H_n^{5/4}}$$

Donde:

$P$  = Potencia Neta en CV

$H_n$  = Salto Neto (m)

$N$  = Velocidad (RPM)

b. Para determinar velocidades específicas también se cuenta con la gráfica de la figura 5.10, conociéndose potencia (HP), velocidad de rotación (eps) y carga de operación (m), encontramos la velocidad específica trazando una línea vertical que pase a través del punto de intersección de la potencia (P) y de la carga (H). El nuevo punto formado por la intersección de la línea vertical y la horizontal de la velocidad de rotación señala en las líneas inclinadas la velocidad específica buscada.

c. A continuación se presentan gráficas que nos dan mayores elementos de juicio respecto a las turbinas y su aplicación:

La figura 5.9 representa las diversas turbinas, Francis (velocidad específica baja)  $N_s = 100$  rodete con predominio de flujo radial, Francis (velocidad específica de 200) rodete con predominio de flujo axial. Kaplan cambia el número y forma de álabes, para velocidades específicas grandes el número de álabes es menor.

La figura 5.11 representa las curvas correspondientes de rendimiento para las turbinas mencionadas anteriormente.

La gráfica 5.12 nos muestra el rango de aplicación de las familias de turbinas para minihidroeléctricas; dependiendo de la clasificación según la potencia generada (ver diagonales); se aprecian regiones de traslape, lo cual indica que en muchos casos se dispone de alternativas para la selección.

5.4.2 Regulador de Velocidad (Gobernador):

Parámetros para la                    - Potencia  
Selección:                                - Frecuencia

Con la selección de determinada turbina se selecciona automáticamente su regulador de velocidad, el cual puede ser oleomecánico o eléctrico-electrónico (Ver numeral 5.2.1).

5.4.3 Transmisión Turbina-Generador:

Parámetros para la                    - Potencia  
Selección:                                - Salto

La transmisión mecánica entre el generador y la turbina se realiza teniendo en cuenta la relación de velocidades entre ambos equipos y que la transmisión por fajas se utiliza para bajas reducciones y la de engranajes para altas reducciones, cuando sea posible igualar la velocidad de la turbina con la del generador se utilizará acoplamiento directo.

5.4.4 Generador:

Parámetro para la Selección: - Potencia

Debe de considerarse como referencia las normas eléctricas vigentes en Guatemala para generadores para determinar la tensión y frecuencia de generación.

Con esos datos se puede seleccionar el tipo de generador más adecuado, tomando como referencia lo indicado en el numeral 5.2.2 de la presente tesis.

En los catálogos comerciales se identifica el generador adecuado para la potencia, frecuencia y tensión de generación.

Al seleccionar el número de revoluciones del generador, se debe considerar que a mayores revoluciones se obtienen generadores de más bajo costo.

5.4.5 Transformadores:

Parámetro para la	- Potencia
Selección:	- Tensión

Guatemala tiene sus propias normas eléctricas, con las especificaciones para valores de la tensión de transmisión y contando con el dato de potencia se determina en los catálogos comerciales el transformador a utilizarse; debe considerarse que las corrientes de corto circuito sean 5 ó 6 veces la nominal.

5.4.6 Tablero de Control para la Casa de Máquinas:

	- Potencia
Parámetros para la	- Tensión
Selección:	- Frecuencia

El tablero debe seleccionarse de acuerdo con las especificaciones de potencia máxima del generador, tensión y frecuencia; teniendo en cuenta que mientras menos complejo sea permitirá un control más eficaz.

5.4.7 Líneas de Conducción:

a. Red de Transmisión o Red Primaria.

Parámetros para la	- Potencia
Selección:	- Tensión de Transmisión

b. Red de Distribución o Red Secundaria (Acometida)

Parámetro para la Selección: - Tensión de Distribución

De acuerdo a las normas eléctricas para conductores vigentes en Guatemala y previo un análisis económico, se selecciona la sección óptima teniendo en cuenta una mínima caída de tensión y una mínima pérdida de potencia.

5.4.8 Subestación:

Parámetro para la Selección: - Potencia

De acuerdo a las normas vigentes en el país, se determina la tensión de distribución y con ella se obtiene la relación de transformación de voltaje, para luego seleccionar en catálogos comerciales los componentes de la subestación.

## 5.5 Obra Civil.

### 5.5.1 Presa o Cortina:

Se construye para obstruir el paso del río y represarlo o embalsarlo, hay de distintos tipos y tamaños, pero en el caso de minihidroeléctricas las más utilizadas son:

En nuestro medio y para obras de pequeña y mediana dimensión se cuenta con las siguientes alternativas de construcción:

Los gaviones se instalan fácilmente, siendo su costo reducido, pues son receptáculos de malla de acero de forma rectangular que contiene piedra obtenida en el lugar. La infiltración que se puede presentar inicialmente, se pueden resolver mediante pantallas de concreto. Tomándose en un problema crítico cuando se trabaja con caudales mínimos, cuando no es posible permitir pérdidas de caudales por pequeños que sean.

Si en la región se cuenta con materiales adecuados, debe considerarse como alternativa el concreto ciclopeo o mampostería. El concreto ciclopeo utiliza roca extraída del lugar lo cual representa una ventaja; siendo una solución recomendable en caso de elevaciones de más de 2m. de agua por tratarse de una estructura rígida, da lugar a fisuras por asentamientos diferenciales.

Si se tiene facilidad para transporte y adquisición de material, se presenta otra alternativa; la cual es en concreto reforzado, siempre que las dimensiones de la estructura sean reducidas. (Figura 5.14).

### 5.5.2 Obras de Toma:

Es la estructura que permite la entrada del agua al sistema de conducción, puede ser sumergida o no, ya sea lateral desde un cauce principal

(a filo de agua) o con embalse.

Debe tratar de colocarse en un estrechamiento del cauce de la corriente del río tratando de minimizarse la longitud de la presa vertedero y con esto también las excavaciones o volúmenes estructurales.

Es importante su ubicación en una zona libre de excesos de sedimentos, así como su fundación en zonas que le den mayor estabilidad (roca).

- Elementos de Protección (Rejillas):

Para impedir la entrada de cuerpos sólidos que pueden ser arrastrados por el flujo del agua dentro del sistema de conducción, se usan estructuras de rejillas formadas por un sistema de barras regularmente espaciadas, se debe tomar en cuenta que obstaculizan el flujo, causando pérdida de energía. En la (gráfica 5.15) se muestran los valores que tiene el coeficiente de fricción para las distintas secciones transversales utilizadas.

Material a usar:

- Concreto
- Mampostería
- Piedra Lanzada (Construcción Artesanal).

5.5.3 Desarenador:

Estructura que obliga a la sedimentación de las partículas o elementos arrastrados por el agua; evitando de esta manera su acceso a la tubería de presión, protegiendo de esta forma a la turbina. Puede instalarse como parte de la obra de toma o de la cámara de carga; según el caudal, terreno, materiales del canal, etc.

Debe hacerse un estudio de granulometría de los sedimentos con lo cual se puede adoptar el tamaño de partícula límite para el diseño del desarenador.

#### 5.5.4 Cámara de Carga:

Estructura al final del canal de conducción y que permite el ingreso a la tubería de presión, debe ser protegida con rejillas que al igual que en la obra de toma sirven para retener cuerpos sólidos.

La cámara de carga debe ser diseñada para asegurar de manera conveniente la alimentación de la tubería de presión, la absorción y la amortiguación de las oscilaciones de apertura y cierre de válvulas de admisión, debidas a las variaciones de carga en las turbinas y la regulación del nivel de agua al comienzo de la tubería de presión. Es muy común el uso de una estructura combinada desarenador-cámara de carga.

#### 5.5.5 Compuertas:

Es un accesorio de cualquiera de los sistemas descritos anteriormente, siendo un elemento utilizado para controlar grandes cantidades de flujo en las minihidroeléctricas que cuentan con embalse o con canal de derivación.

##### Tipos de Compuertas:

- a. Verticales
- b. Radiales
- c. De Tambor
- d. De Rodillos

#### 5.5.6 Tubería de Presión:

Conducto por el cual el agua pasa de la cámara de carga a una elevación menor donde se encuentra la turbina.

En las tuberías de presión que se utilizan en la práctica además de las pérdidas por fricción, siempre hay otras pérdidas de energía que se deben al cambio de geometría de la sección, a la alteración del flujo, a dispositivos para control de las descargas (válvulas y compuertas) y a elementos de protección (rejillas). Este tipo de pérdida de carga se conoce como pérdida local. Su magnitud está expresada como una fracción de la carga de velocidad; siendo su fórmula general:

$$h = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h = Pérdida de energía en m.c.a.

K = Coeficiente adicional que depende del tipo de dispositivo.

La tubería de presión puede ser diseñada de diferentes tipos y tamaños combinados, pudiendo seleccionarse entre varios materiales.

A continuación se muestra el rango de aplicación de los diferentes materiales en relación con el salto en metros:

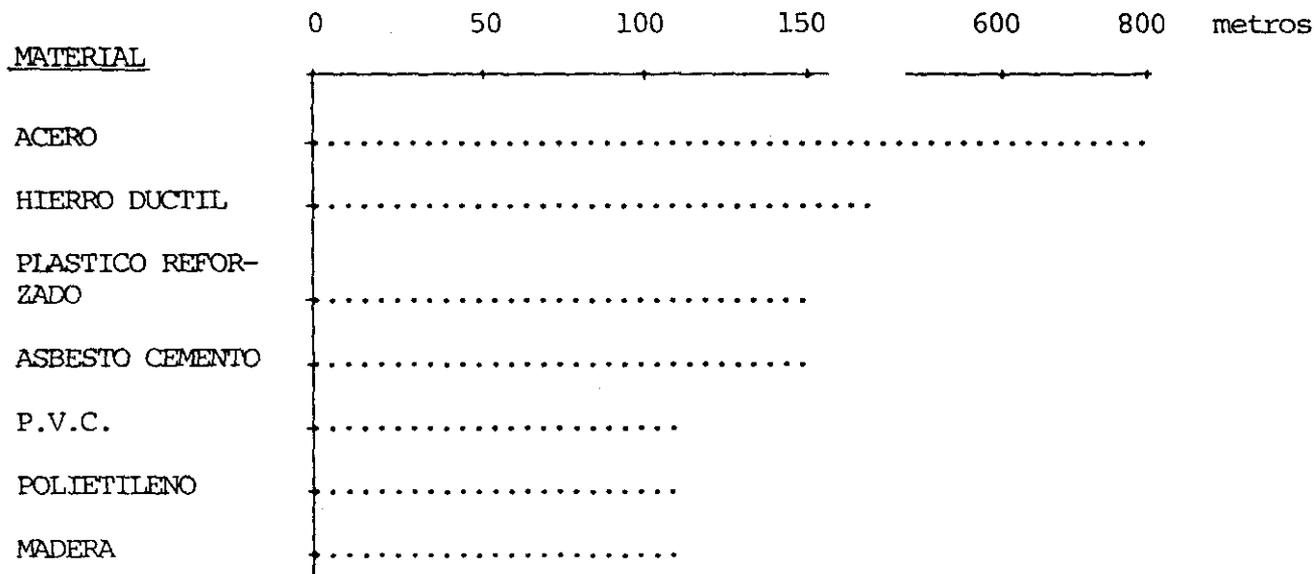


Fig. 5.16 Rango de aplicación de diferentes materiales de tubería en relación con el salto.

Con el fin de soportar el golpe de ariete máximo permitido en minihidroeléctricas, la tubería debe poseer una presión nominal del orden de un 30% más del salto bruto. Esa sobrepresión debida al golpe de ariete se puede controlar fijando un tiempo de cierre apropiado en el regulador.

Los costos de construcción aumentan en relación con las condiciones del terreno y con el diámetro de la tubería principalmente; esto debe compararse con la energía, la cual depende de las pérdidas. Con esta comparación se debe encontrar el diámetro óptimo.

Tomando en consideración que la tubería se encuentra sometida de distintos requerimientos estructurales, deben diseñarse anclajes que aseguren contra el volcamiento, deslizamiento y tengan suficiente capacidad portante. Debiéndose analizar la tubería para tres hipótesis de carga:

- Tubería de Presión, caso estático
- Tubería de Presión, caso dinámico
- Tubería vacía.

Se considera necesario el diseño de una galería de infiltración a lo largo de toda la tubería para drenar posibles fugas de la tubería que podrían causar erosión del terreno.

#### 5.5.7 Válvulas:

Es un accesorio de la tubería, son los elementos usados para el control del flujo en las tuberías; en general deben funcionar en forma hermética, rápida y segura según su ubicación en el sistema. Las podemos situar en la siguiente forma:

- Válvula de entrada a la tubería de presión.
- Válvula de la tubería de presión, que debe estar colocada en el lugar más apropiado.
- Válvula de admisión.
- Válvula de descarga o alivio.

Desde el punto de vista constructivo, existen los siguientes tipos de válvulas:

- a. De Compuerta
- b. De Mariposa o Lenteja

- c. Esférica
- d. De Paso o Retención
- e. De Chorro hueco

#### 5.5.8 Casa de Máquinas:

Estructura que aloja los grupos generador-turbina, así como los demás equipos electromecánicos; su diseño debe considerar como principal elemento el costo mínimo requerido en función de las necesidades de la planta según el salto, el caudal y el número de unidades.

Es importante asignar un área para vivienda del operador, así como instalación sanitaria.

Su construcción puede realizarse con cualquier material de construcción, dependiendo de la disponibilidad de recursos.

#### 5.5.9 Canal de Desagüe: (Retorno al cauce)

Luego de haber cumplido la misión de transmitir su energía al sistema turbina-generador, el agua debe ser restituida al cauce del que fue tomada, para esto es necesaria una estructura que a continuación de la casa de máquinas permita ese paso. Este canal puede ser sin recubrimiento, únicamente en la salida de la casa de máquinas se deben tomar medidas para evitar que el agua socave con peligro de la cimentación.

#### 5.6 Recomendaciones para el equipo:

- En las pequeñas instalaciones, las válvulas y compuertas; así como turbinas, reguladores, generadores y transformadores que no funcionan adecuadamente, pueden ser sustituidos mientras se reparan en un taller para el efecto.

- El mantenimiento de la maquinaria y de las válvulas debe realizarse a intervalos regulares con el fin de asegurar una correcta operación en cualquier momento.
- Las válvulas y compuertas deben ser operadas completamente por lo menos una vez al mes para evitar que por falta de uso sufran daños.
- Las turbinas deben recibir una inspección al año para verificar su estado.
- Los generadores deben ser inspeccionados y aislarse anualmente para detectar daños, al igual los tableros de control y los transformadores.
- Las barras colectoras, especialmente las juntas, deben inspeccionarse cada seis meses.
- Las redes deben inspeccionarse cada seis meses y en las épocas de mantenimiento anual, debe comprobarse si tienen daños.
- Las subestaciones deben ser inspeccionadas periódicamente para detectar fallas por cortocircuito. (Cada tres meses).

#### 5.7 Recomendaciones para la Obra Civil:

- Es sumamente importante la inspección regular de canales, presas, aliviaderos, compuertas reguladoras, tuberías y conductos.
- En los períodos de crecidas, deben efectuarse inspecciones diarias con el fin de detectar cualquier problema por las crecientes o deslizamientos; erosión de columnas de soporte, fuerzas no usuales sobre las estructuras, basuras depositadas en las rejillas y en las

compuertas de regulación, erosión por debajo de las presas y niveles de aguas abajo anormales.

- En las instalaciones de baja caída, las crecidas pueden representar mayores problemas que en las de mayor caída, pues pueden afectar a la presa y a las unidades generadoras.
- Los deslizamientos del terreno pueden afectar canales o conductos y pueden llenar los canales de material sólido causando taponamientos y por lo tanto, desbordamientos y sobrecargas de sedimentos en las turbinas.
- Las inspecciones en períodos de emergencia deben hacerse por personas con conocimientos y familiarizadas con el proyecto.

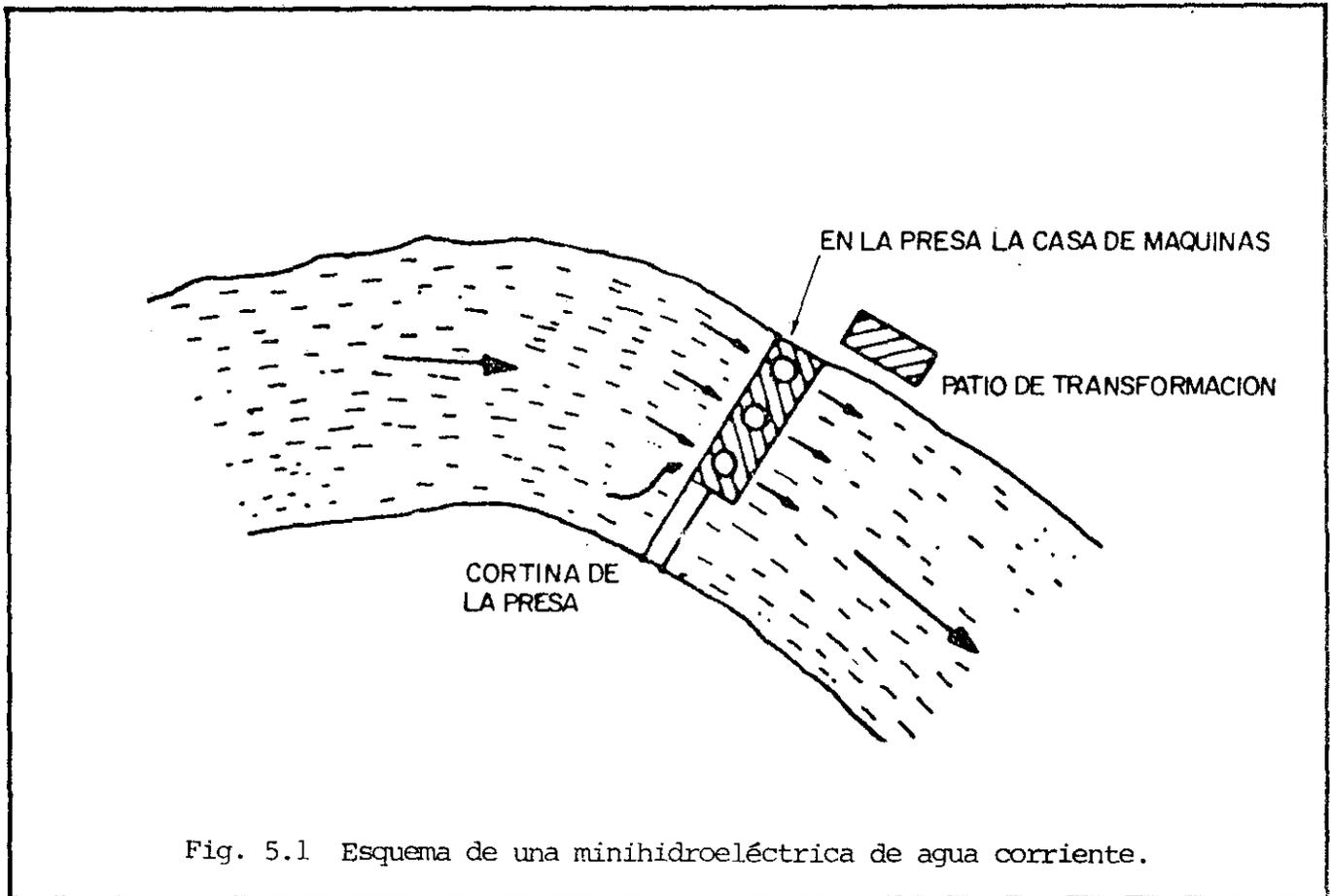


Fig. 5.1 Esquema de una minihidroeléctrica de agua corriente.

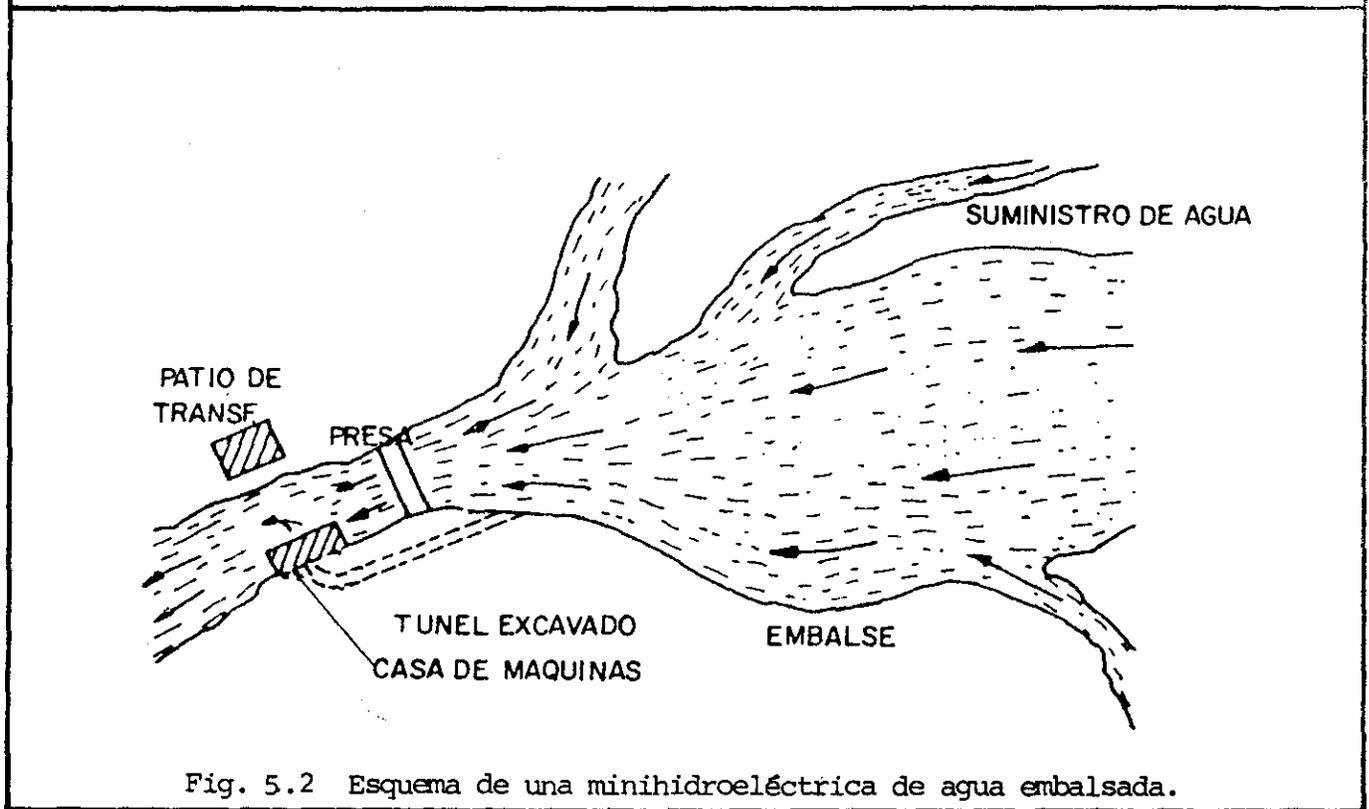
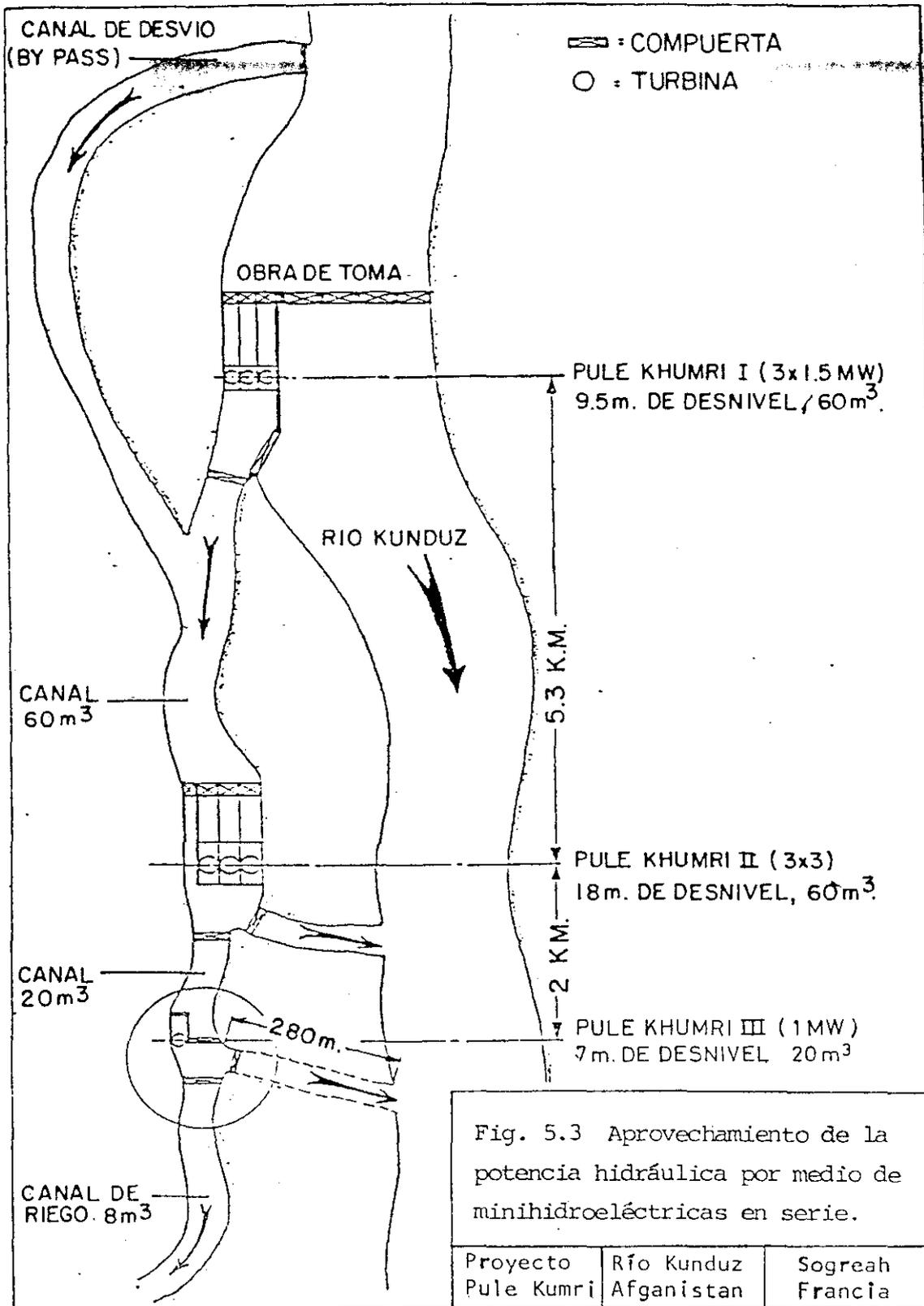


Fig. 5.2 Esquema de una minihidroeléctrica de agua embalsada.



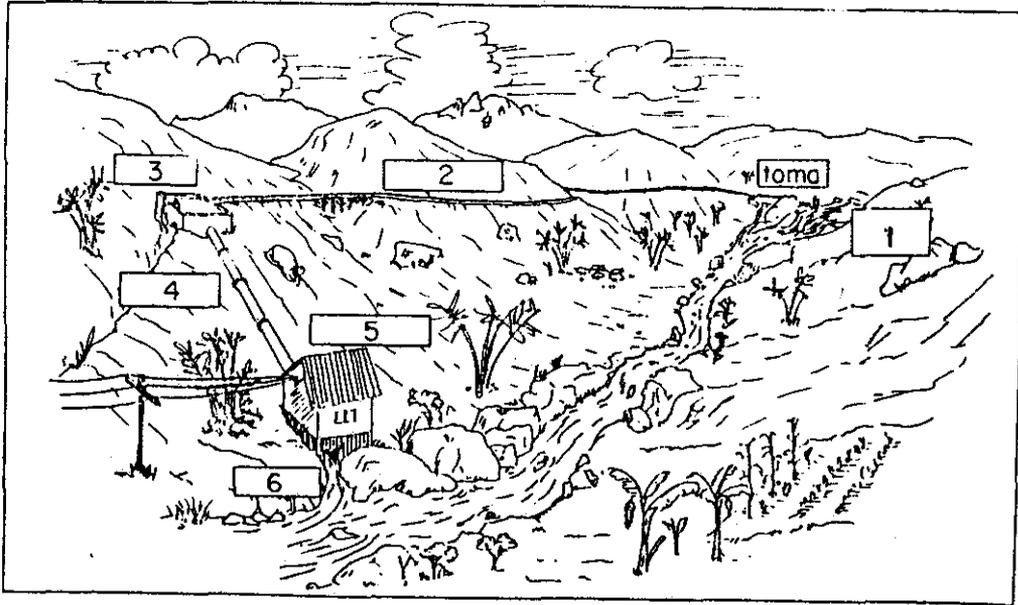


Fig. 5.4 Esquema de una minihidroeléctrica con canal de derivación.

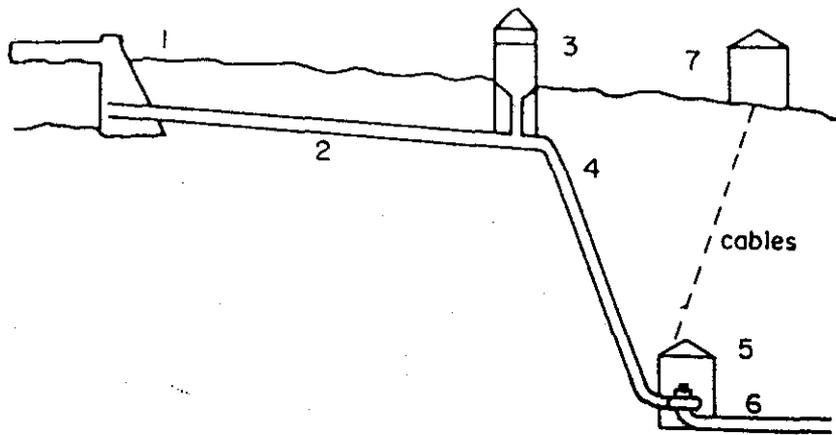


Fig. 5.5 Esquema de una minihidroeléctrica con galería de Presión.



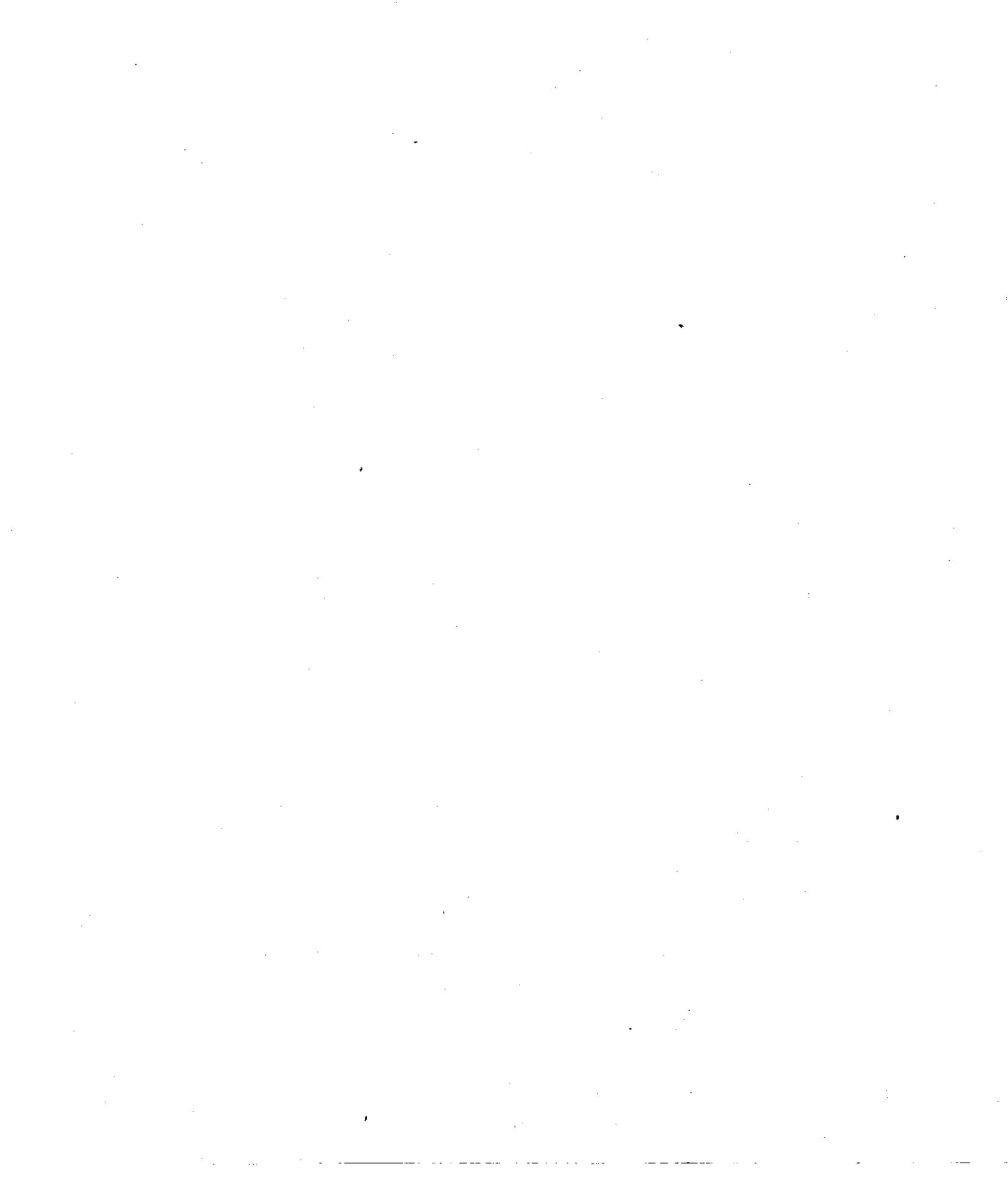


Fig. 5.5 Esquema de una minihidroeléctrica con galería de presión.

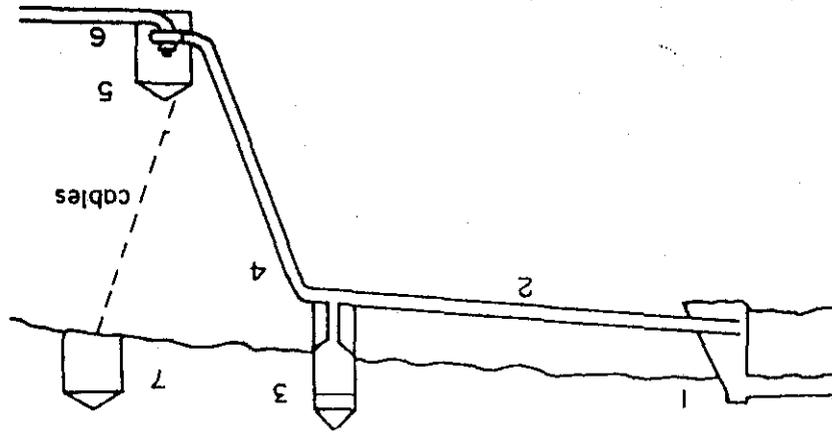
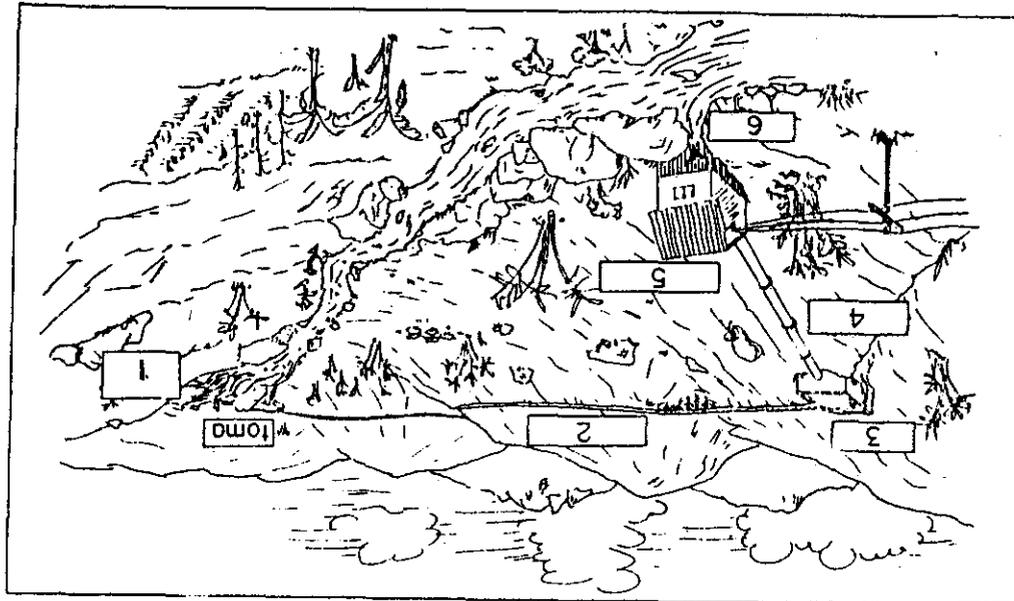


Fig. 5.4 Esquema de una minihidroeléctrica con canal de derivación.



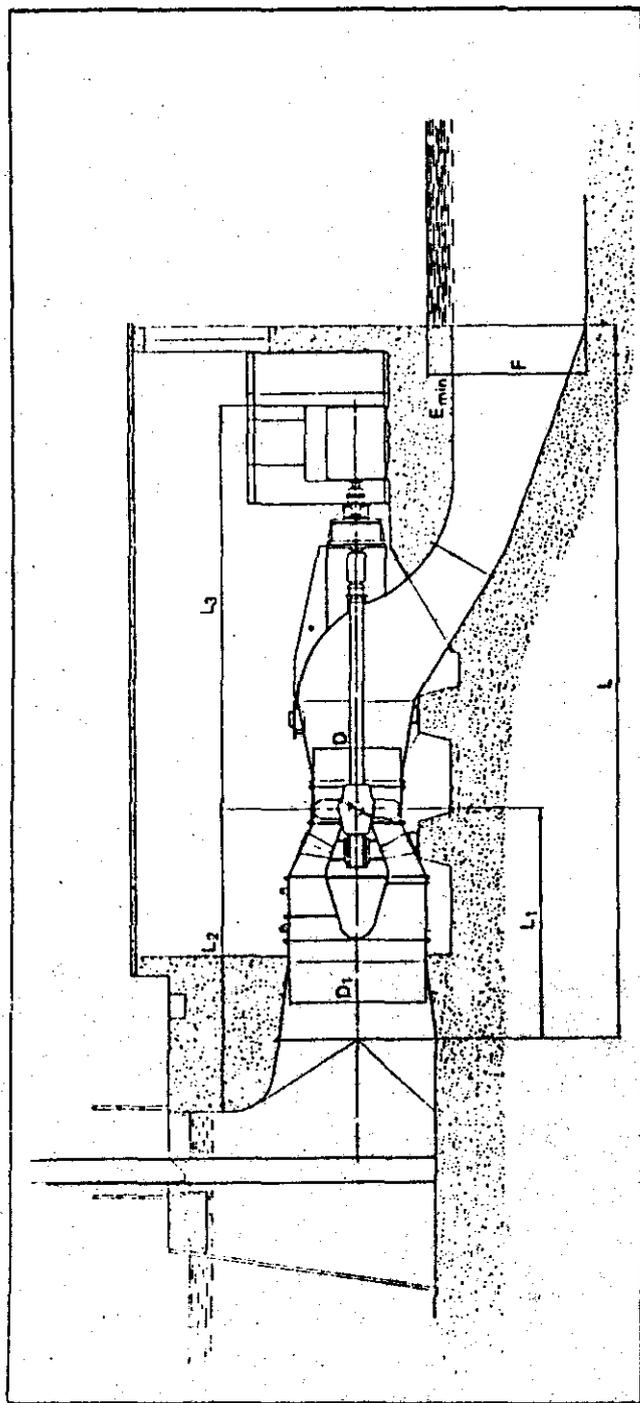


Fig. 5.7 Configuración de una turbina tubular

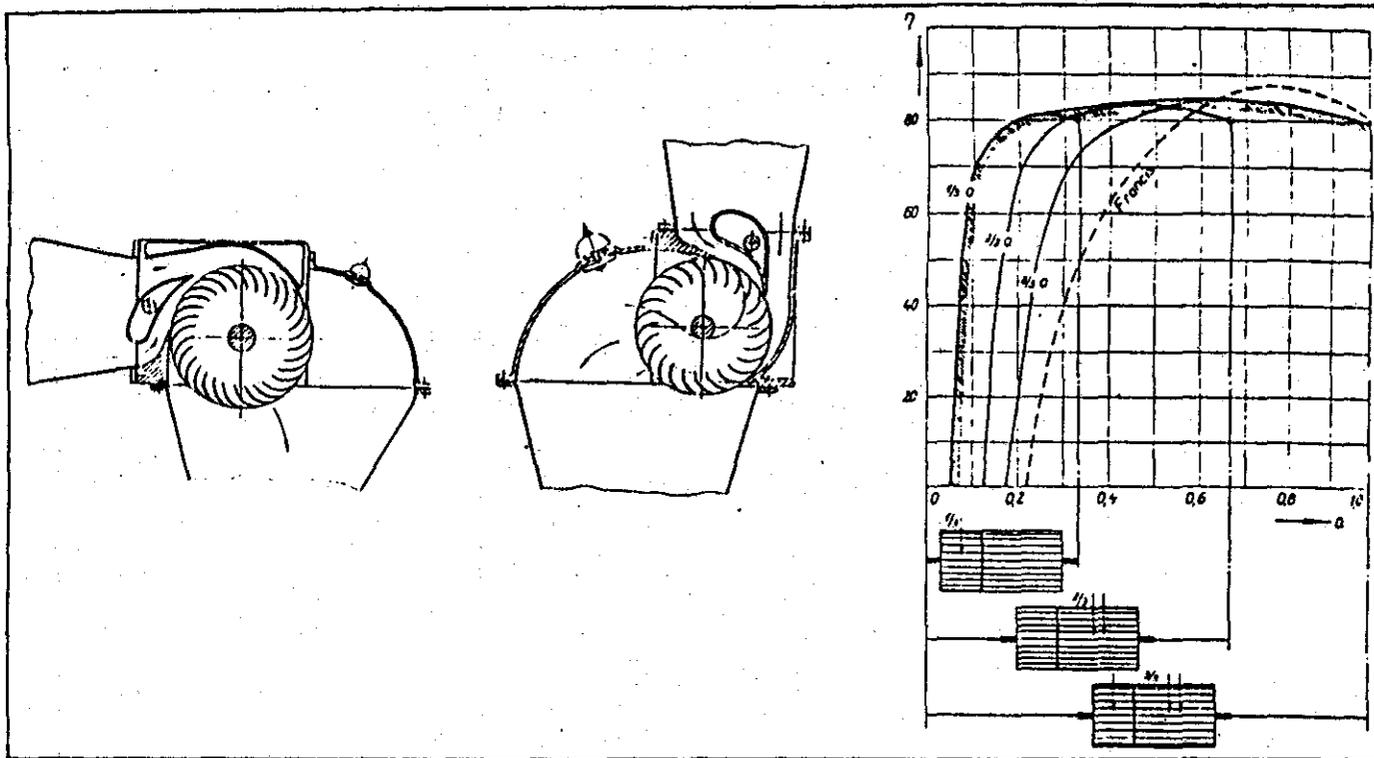


Fig. 5.8 Configuración de una turbina de flujo transversal y gráfica de eficiencia de la misma.

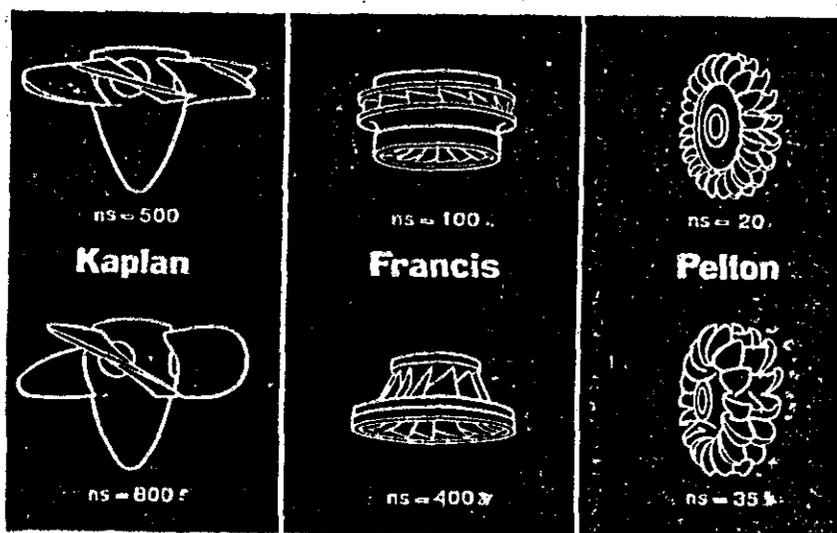


Fig. 5.9 Tipos de rodetes de turbinas y sus correspondientes velocidades específicas.

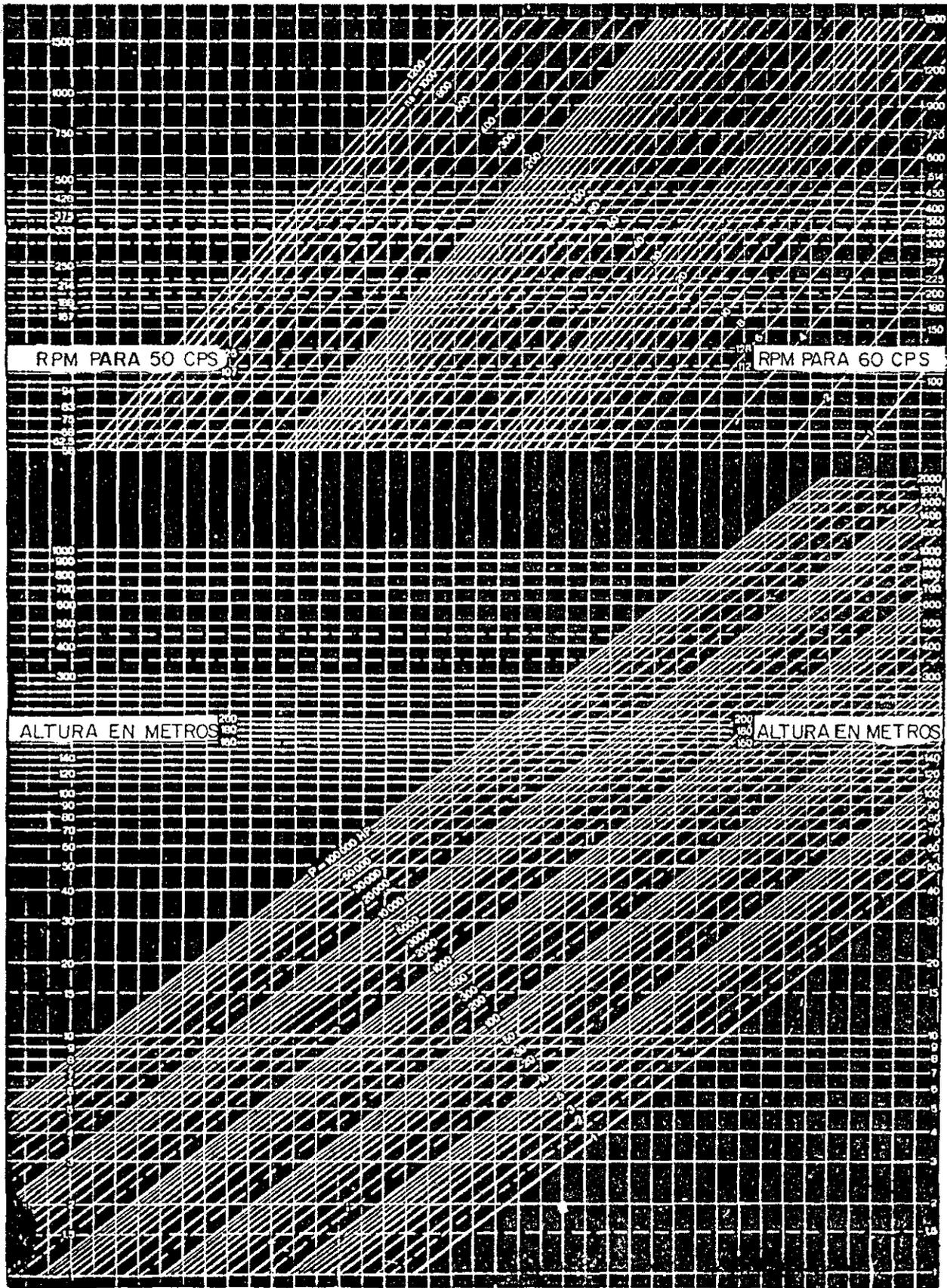


Fig. 5.10 Gráfica para selección de turbinas a partir de la velocidad específica.



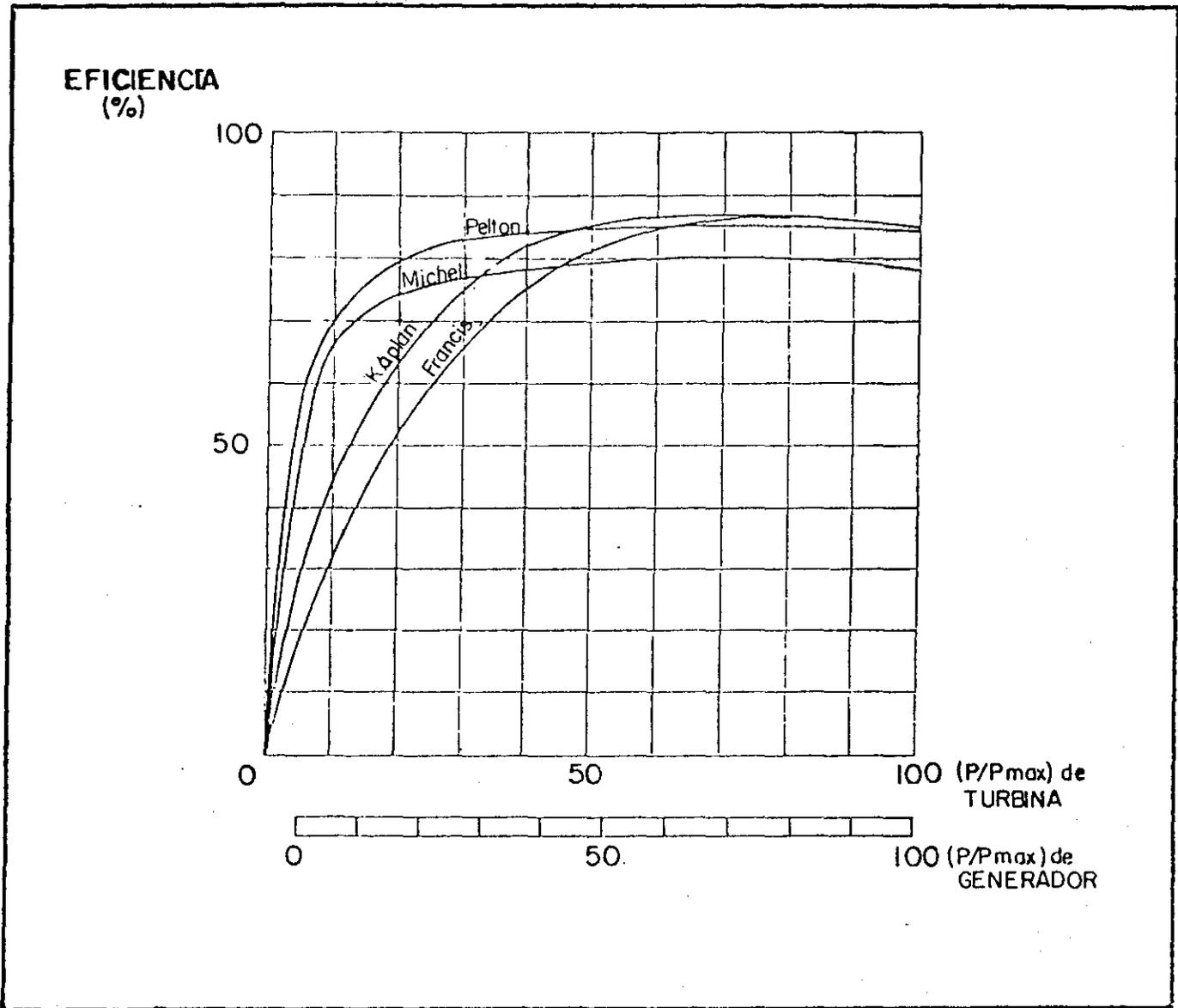


Fig. 5.11 Eficiencia a carga parcial de turbinas hidráulicas.

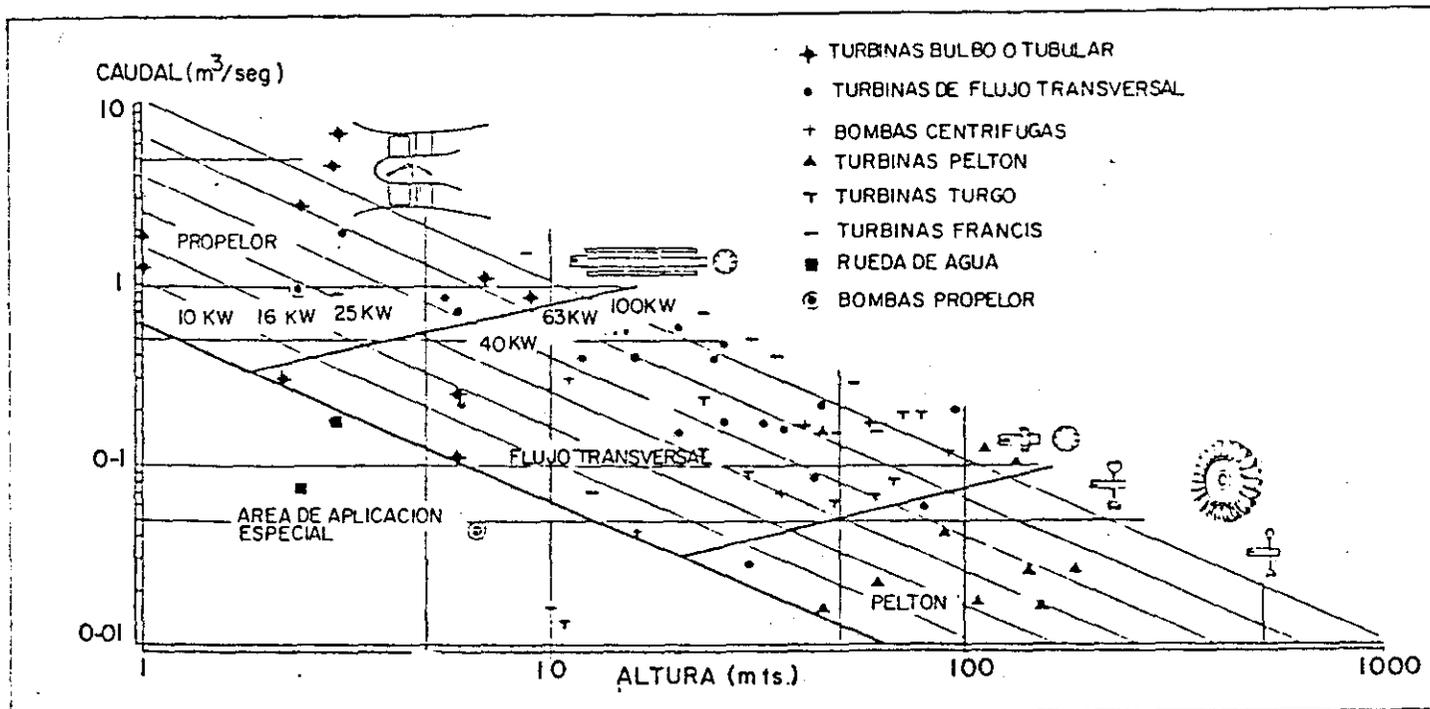


Fig. 5.12 Rango de aplicación para las turbinas en Minihidroeléctricas.

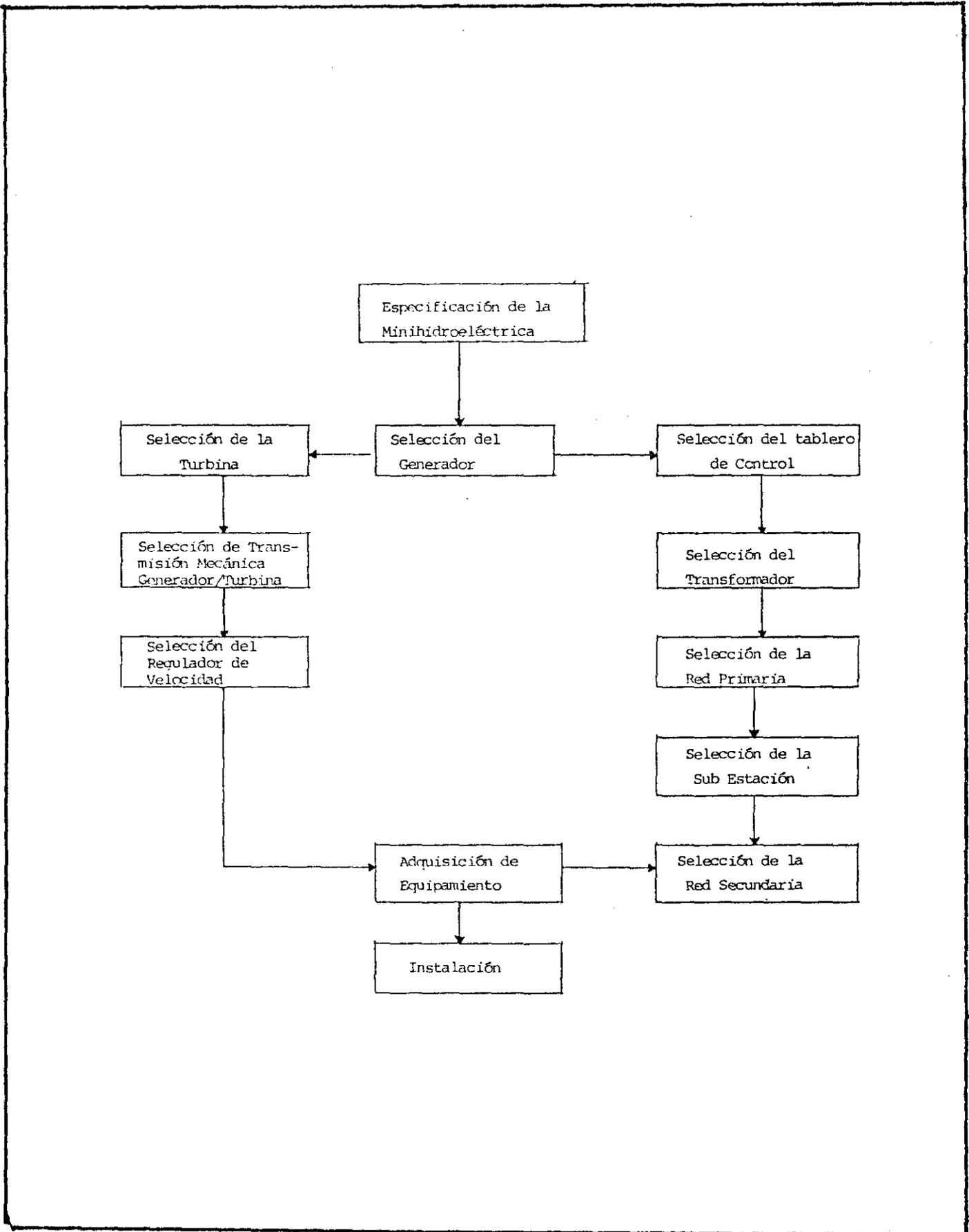
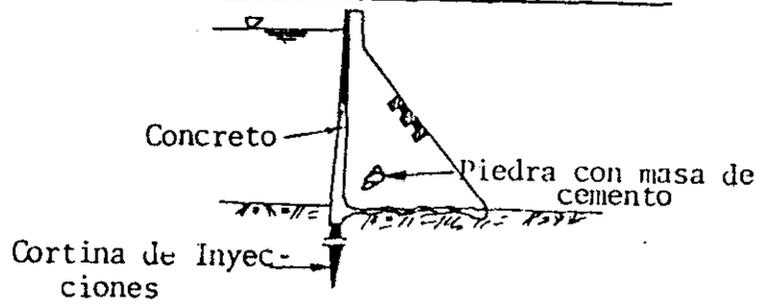
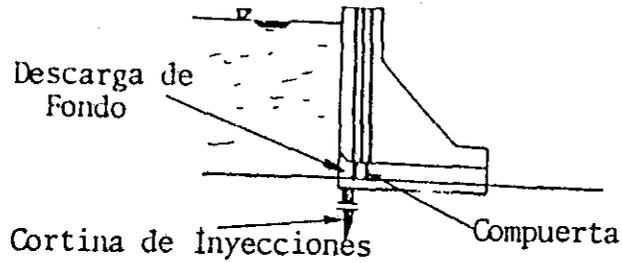


Fig. 5.13 Diagrama de flujo para la selección de equipo para mini-hidroeléctricas.

Presas de Piedra con Masa de Cemento



Presas de Concreto



Presas de Gavión



Presas de Concreto

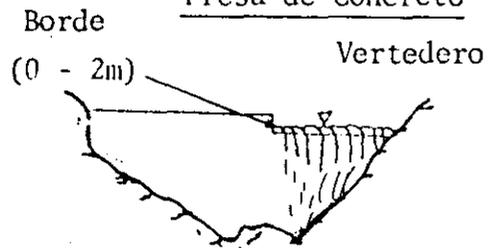


Fig. 5.14 Algunos tipos de presas

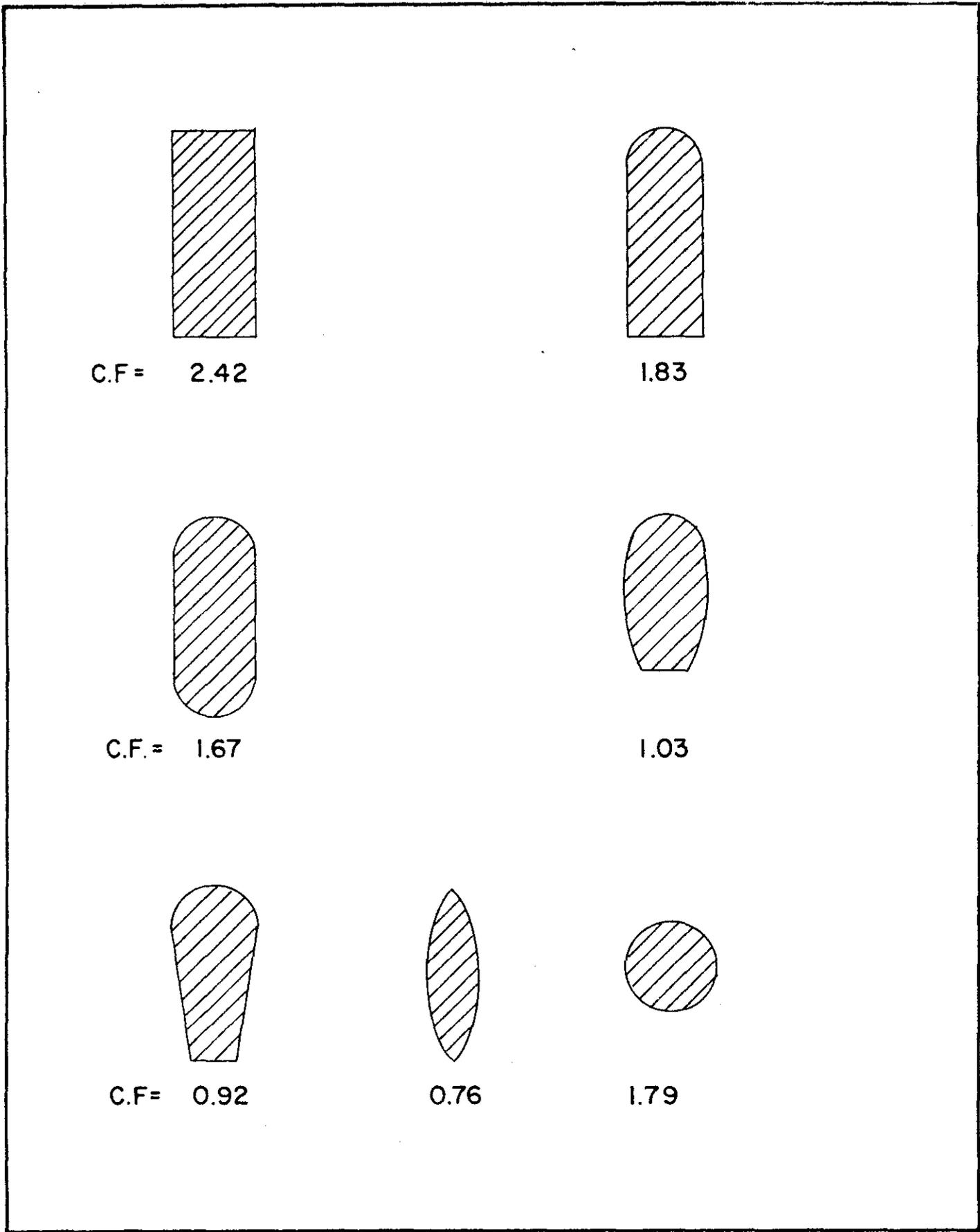


Fig. 5.15 Diferentes secciones para rejillas y su coeficiente de fricción.

TABLA 5.A. RANGO DE APLICACION DE TURBINAS HIDRAULICAS

TIPO DE TURBINA	$N_q$	$N_s$
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 toberas	4 - 13	14 - 42
Turbina Pelton de 3 toberas o más	5 - 22	17 - 73
Turbina Michell-Banki	18 - 60	60 - 200
Turbina Francis Lenta	18 - 38	69 - 125
Turbina Francis Normal	38 - 68	125 - 225
Turbina Francis Rápida	68 - 135	225 - 450
Turbina axiales	105 - 300	350 - 1000

FUENTE: CLADE

TABLA 5.B. SELECCION DE TURBINAS SEGUN VELOCIDADES ESPECIFICAS

TIPO DE TURBINA	$N_s$	$N_q$	Hmax. 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	200 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	63 a 135	80 a 20
HELICE y KAPLAN	342 a 980	105 a 300	35 a 5

FUENTE: OLADE

## 6. INGENIERIA DEL PROYECTO:

La evaluación detallada de la información se centrará en aquellos puntos que presenten mejores perspectivas, en consecuencia es muy importante desarrollar en forma paralela e integral el estudio del recurso hidroenergético y evaluación de necesidades, estas evaluaciones permitirán identificar proyectos específicos, siendo elementos muy importantes de análisis la información referente a recursos Hidráulicos, Hidrología, Ecología, Geología y Topografía.

La profundidad y grado de detalle de la evaluación dependerá del potencial hidroenergético y las necesidades de energía, pudiendo inicialmente a manera de datos preliminares restringirse a evaluaciones cualitativas o aproximadas.

Por ser la intención del presente trabajo de tesis la de plantear a las minihidroeléctricas como elemento importante en la generación energética de Guatemala tanto a nivel estatal, municipal y privada, es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones entre otras:

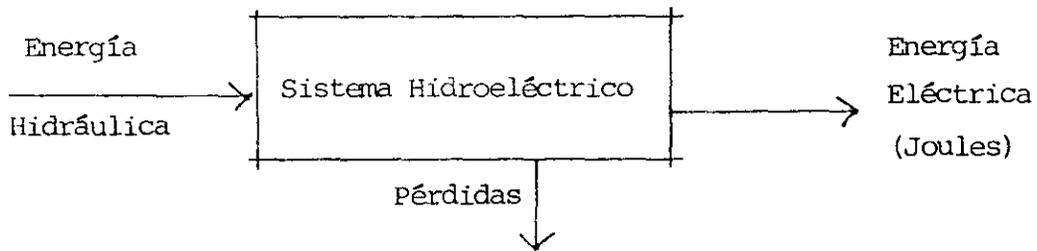
- a. Hasta donde sea económicamente justificable tratar de agrupar conjuntos de localidades como de industrias y fincas para formar pequeños sistemas interconectados a media tensión, en función de sus radios de alcance y las características topográficas de la zona.
- b. Darle prioridad a los proyectos de mayor potencia relativa que puedan sustituir económicamente a varios de menor importancia.
- c. De acuerdo con la topografía y características del recurso, seleccionar el tipo de central en cuanto a salto, recordando que los más elevados son los más ventajosos en cuanto a menos inversión inicial estando sin embargo, sujetos a mayor desgaste del equipo hidráulico y por consiguiente, mayor mantenimiento del mismo.

- d. Tomar en cuenta posibles incrementos en los requerimientos de capacidad instalada, ya sea sobre dimensionando instalaciones o previendo ampliaciones.
- e. Tomar en cuenta que todo proyecto hidroeléctrico tiene costos relativamente altos, por lo que es necesario tratar de optimizar resultados en la evaluación y dictamen final para la elección del sistema.
- f. Los estudios de campo de Geología, Topografía, así como de Hidrología; serán la base para determinar si el proyecto muestra características favorables o en caso contrario, permitiera definir alternativas o bien evaluar la conveniencia de continuar con los estudios.

6.1 Operación y Producción de Energía:

La minihidroeléctrica, al igual que los grandes esquemas; transforma la energía hidráulica de una masa de agua situada a cierta altura.

H, en energía eléctrica. ( $P = \gamma QH$ ), lo anterior se aprecia en la expresión  $P = \gamma QH$  ; donde:



$P$  = Potencia

$\gamma$  = Peso específico del agua (1)

$Q$  = Caudal del río ( $m^3$ /seg.)

$H$  = Altura de caída (m)

Por lo que el sistema minihidroeléctrico debe tener la máxima eficiencia para lo cual es necesario:

- a. Tratar de utilizar la carga  $H$  (altura sobre el mar) en uno o varios pasos con plantas escalonadas. Hoy en día con la gran escasez de energía, no podemos permitir que un río fluya libremente al mar sin haber utilizado al máximo su energía potencial.
- b. Que la eficiencia de las obras de toma y conducción sea máxima.
- c. Que la eficiencia de la conversión de energía en la turbina sea óptima.
- d. Que la eficiencia del generador eléctrico que transforma la energía mecánica en eléctrica también lo sea.
- e. La transmisión eléctrica hasta los consumidores debe ser optimizada.

La masa de agua mencionada proviene de los ríos que son alimentados por la lluvia que cae sobre la tierra; por su naturaleza en nuestro medio existen los siguientes tipos de ríos:

- a. Ríos de región tropical (originados por las precipitaciones atmosféricas), siendo su característica:
  - Caudal máximo en la época lluviosa.
  - Caudal mínimo en la época seca.

- b. Ríos de Manantial: Las montañas hacen una labor de captación y en ocasiones de almacenamiento. El agua que no fluye superficialmente en ocasiones es absorbida y por filtración forma ríos subterráneos que vuelven a la superficie aguas abajo en forma de manantiales. Estos ríos tienen curvas de aportación menos irregulares.

Cualquiera que sea el tipo de río tiene fluctuaciones en cuanto al volumen de agua que conduce a través de los diferentes días del año; debido a ello la energía del río varía y habría que represarlo a fin de regular la cantidad de agua que pase a la turbina para su conversión a energía eléctrica.

Una de las herramientas más importantes que resultan del análisis hidrológico son las curvas de gasto diario, para determinarlas se necesita estudiar al río durante períodos determinados, cuanto más largo sea éste, mejor será el resultado del análisis. Existen severas limitaciones de información hidrológica en cuencas pequeñas ( $< 100 \text{ Km}^2$ ) en Guatemala, lo que hace que las evaluaciones hidrológicas sean más complejas. (Ver figura 6.1).

#### 6.1.1 Carga Eléctrica del Sistema:

La demanda del sistema se caracteriza por no ser constante, pues varía a lo largo del día y a través del año. Durante el día se observa un primer pico, alrededor del mediodía; cuando trabajan las fincas, las industrias, el comercio, la cocina de alimentos, etc.

Viene después una baja a la hora de la comida, para después aumentar hasta llegar al pico máximo que se observa alrededor de las 19 a las 21 horas, que es el momento en que se tiene una gran carga de consumo doméstico, de alumbrado público y de las fábricas que tienen un horario nocturno. (Ver figura 6.2).

Por supuesto que esta carga varía mucho de verano a invierno, cuando las noches son más largas.

En nuestro medio rural durante el verano se producen fuertes cargas de energía por el uso de sistemas para riego, también por ser ésta una época que coincide con la cosecha de gran parte de la producción agrícola del país, lo cual involucra un gran número de maquinaria eléctrica en el proceso. Para una zona industrial se tiene la siguiente curva de la figura 6.3; y para una zona residencial la figura 6.4.

Es muy conveniente contar con las curvas de demanda por sector y sacar curvas integradas, mensual y luego anualmente.

Las curvas no cronológicas se obtienen de las curvas cronológicas, la figura 6.5 muestra el método para pasar de una curva cronológica a una no cronológica.

En base a la curva no cronológica, podemos apreciar los tipos de planta que se usan para cubrir la demanda de energía eléctrica. (Ver figura 6.6).

De ella se infiere que las plantas térmicas de alta eficiencia se usan como plantas base, pero se debe considerar que no se puede en cualquier momento detener o poner en funcionamiento, ventaja que por otro lado sí poseen las minihidroeléctricas principalmente las que posean vaso de almacenamiento; lo cual hace ideal a un sistema de minihidroeléctricas para enfrentar al período pico.

#### 6.1.2 Operación y Mantenimiento de las Minihidroeléctricas:

Las características de la operación y mantenimiento dependen principalmente de:

- Tipo de Minihidroeléctrica
- Tamaño de la Minihidroeléctrica

- **Tipo de Servicio**
- **Nivel de automatización en la regulación**
- **Confiabilidad de los equipos**
- **Estructura Institucional del Servicio Eléctrico**

Suponiendo una minihidroeléctrica con un bajo nivel de automatización, restringido al regulador de velocidad, al regulador de voltaje y a los dispositivos de seguridad, combinado con un servicio durante determinado número de horas del día, es posible considerar un solo operador; en el caso de servicio continuo, se debe contar con un mínimo de tres operadores que supervisen la planta por turnos.

Es necesario que los operadores tengan cierto nivel de conocimientos y que sean competentes en el ejercicio de su función para que puedan asumir responsabilidades de mantenimiento preventivo y reparaciones menores de emergencia.

Entre los conocimientos básicos recomendables que debe tener un operador de minihidroeléctricas los más importantes son:

- **Electricidad Industrial Básica**
- **Mecánica de Banco**
- **Soldadura**
- **Administración**
- **Secuencia de Operación**

Las actividades de mantenimiento y reparación pueden distribuirse de la siguiente forma:

ACTIVIDAD	EJECUCION	
	Minihidroeléctrica Pública	Minihidroeléctrica Privada
Mantenimiento preventivo del equipo	Operador	Operador
Mantenimiento preventivo y Reparaciones de la Obra Civil.	Operador con el apoyo comunal.	Operador con el apoyo del personal.
Reparaciones Generales del Equipo.	Brigadas volantes de mantenimiento de la Institución del Servicio Eléctrico y/o del Operador.	Talleres Especializados o el Fabricante.
Reparaciones Mayores del Equipo.	Talleres Especializados o el Fabricante.	Talleres Especializados o el Fabricante.

#### 6.2 Investigación Hidrológica:

Es su objeto entre otros estimar los caudales aprovechables para minihidroeléctricas, generalmente determinando caudales mínimos, caudales con una probabilidad de excedencia del orden de 85% a 95%.

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

Siendo posible plantear criterios de semejanza entre las subcuencas y las cuencas principales que permita la generalización de la información que seguramente si existe para las grandes cuencas; primordialmente respecto a precipitaciones anuales, caudales medios y curvas de duración de caudales.

Por medio del procesamiento de las mediciones pluviométricas realizadas, se obtiene información que permite establecer ecuaciones de regresión de datos existentes, de la misma manera se procesa la información hidrométrica disponible, partiendo de conocimientos y criterios de interpolación para ajustar los registros de caudales.

También es posible el uso de modelos hidrológicos cuando no se cuenta con la información mencionada; que representen la capacidad hidrológica de la subcuenca, simulando series de escurrimiento para el área del drenaje considerada.

El sistema SNSF-Noruego, simula la transferencia a través de cada subcuenca por medio de un sistema de cuencas; resultando un modelo interesante previa adaptación para su aplicación en nuestro medio.

Según los autores Viejo Zubicaray y Alonso (Ver referencias), el caudal mínimo mensual o aquél que exceda el 95% del tiempo, considerando el empleo predominante de minihidroeléctricas con captación de toma lateral desde un cauce principal, puede definirse como un porcentaje del caudal promedio

multianual. Es posible plantear relaciones entre el caudal medio anual o el rendimiento hídrico medio anual ( $m^3/s/Km^2$ ) que también se conoce como modelo de caudal; y la correspondiente área de drenaje de la cuenca, lo que en conjunto con las curvas de duración determinadas directamente, permite llegar a determinar expresiones lineales para el cálculo de los caudales mínimos mensuales.

Los valores mínimos diarios generalmente son inferiores a los mínimos mensuales; esto se comprueba en la evaluación de los caudales diarios, los cuales pueden variar considerablemente; lo que implica una predicción definitivamente incierta, lo cual viene a representar un problema aparentemente insalvable para las minihidroeléctricas con captación directa del río donde no está considerada la acumulación o embalse, pero los autores Viejo Zubicaray y Alonso indican que resulta un problema de carácter transitorio, debido a que los caudales mínimos diarios inferiores a los mensuales ocurren en forma esporádica y aislada.

Una situación ideal sería la de poder contar con aforos sobre el cauce de donde se aprovecharían las aguas por un período de tres años como mínimo, sin embargo; esto resulta práctico para una serie de proyectos de una misma cuenca determinada, más no para proyectos de carácter específico.

Otra fuente de información sería la investigación de la información proporcionada por la población, la cual debidamente interpretada puede contribuir a estimar caudales históricos y comportamiento medio del río; dado que los caudales máximos representan una útil referencia para el diseño de las obras civiles, sobre todo en lo que se relaciona con las protecciones necesarias para la obra.

### 6.3 Estudios Topográficos y Geológicos:

6.3.1 Para la evaluación de un punto específico, es fundamental contar con

levantamientos topográficos; en el caso de estudios preliminares sería suficiente contar con información referente a diferencias de niveles de los puntos principales; a medida que se profundiza en la evaluación del mencionado punto se hace necesario contar con mayor información topográfica del sitio, como sería el levantamiento del perfil del proyecto desde el lugar de la captación a la casa de máquinas; así como perfiles transversales, pudiendo ubicarse el punto exacto en las curvas de nivel de un mapa del lugar.

Además resulta necesario contar con un plano en planta de la ubicación teórica de los distintos elementos del proyecto.

Se debe realizar un levantamiento topográfico detallado de los puntos de mayor interés como son:

- Toma de agua
- Canal
- Cámara de carga
- Caída
- Casa de Máquinas
- Descarga

Debiendo realizarse una nivelación cuidadosa de la caída y replanteo en el trazo de la tubería.

#### 6.3.2 Investigación Geológica:

Persigue la determinación de las características básicas y la com-

posición del suelo y el subsuelo del sitio de la obra con la finalidad de establecer bases de orientación general para la construcción, principalmente en los aspectos estructurales y sísmicos.

Es importante contar con datos de estudios de las cuencas y subcuencas, lo que permite en dado caso contar con información para proyectos específicos, los aspectos de estudio más importantes son:

- Litología (Formaciones geológicas, aplicación de métodos de estratigrafía).
- Geología Estructural (Fallas, orientación, actividad volcánica).
- Sismología (Registros, probabilidad de sismos y su magnitud).
- Geotécnica: Estudio de las características de los suelos, sus propiedades mecánicas, estabilidad y niveles freáticos, principalmente para orientar la construcción de las obras hidráulicas; debiendo reducirse a un mínimo dado por apreciaciones cualitativas mediante excavaciones y sondeos; determinación de la capacidad portante del suelo y estimación de factores de seguridad para el diseño de los elementos del sistema.

#### 6.4 Estudios para Inversión:

Es difícil lograr una separación exacta para lograr un enfoque individual de proyectos específicos, ya que puede encontrarse una relación con el proceso de identificación y priorización de proyectos.

Los estudios para un proyecto minihidroeléctrico específico cumplen dos fines fundamentales:

- Justificación Técnico-Económica.
- Orientación para la ejecución del proyecto.

Es en el proceso de estudios para la inversión donde se encuentran las mayores diferencias entre los proyectos de minihidroeléctricas y los esquemas convencionales; pudiendo tropezarse con problemas del siguiente tipo:

- En relación con el costo del proyecto, el costo de los estudios en minihidroeléctricas resulta relativamente elevado (entre 25% y 40%).
- Términos de referencia formales y no siempre orientados a las necesidades del proyecto específico.
- Proliferación de información ajena a las necesidades del estudio y la realidad existente.
- Dificultad de determinación del monto de inversión requerida y del diseño de la minihidroeléctrica por carencia de antecedentes prácticos.

Los problemas mencionados tienen su origen en aspectos básicos como los siguientes:

- Estrictos requerimientos y exigencias de las agencias de financiamiento.
- Enfoque dependiente de los conocimientos propios de las grandes hidroeléctricas.
- Desconocimiento de las capacidades hidrológicas y la demanda de energía de áreas susceptibles a ser tomadas en consideración para una posible implementación de proyectos minihidroeléctricos.
- Falta de información técnica en el medio y por consiguiente, desconocimiento del aspecto económico.

- Necesidad de esquemas efectivos de consultoría y optimización de los sistemas de investigación de las instituciones públicas.
- Falta de oportunidad para las poblaciones aisladas y con capacidad humana suficiente para participar de proyectos comunales.
- Falta de información en la iniciativa privada de las capacidades de solución de problemas energéticos para sus centros de producción.

Es importante definir cifras máximas referente al monto de la inversión para los estudios en relación al costo total y tamaño del proyecto.

Es natural que Guatemala necesite que se definan estas metas partiendo de un análisis aproximado del costo del estudio y alcance de los mismos, debiendo tomar en cuenta que a partir del estudio se obtiene una información aproximada para la ejecución y da criterios de factibilidad económica del proyecto, en consecuencia; debe tratarse de mantener una proporción lógica que evite que los estudios pongan en peligro la factibilidad del proyecto.

A continuación una tabla con porcentajes razonables de costo para estudios, según investigación de OLADE; los cuales se deben considerar dependientes de distintos factores.

Potencia en KW	Costo Máximo Total asignado para estudios ( % )
10	15
100	11
1,000	8
5,000	6

A continuación se plantean algunos procedimientos muy generales para efectuar estudios para inversión en sus tres grados conocidos: Prefactibilidad, Factibilidad e Ingeniería de detalle.

#### 6.4.1 Estudio de Prefactibilidad (generalidades):

Debido a los alcances restringidos y las dificultades mencionadas anteriormente, es conveniente un planteamiento cauteloso de requerimientos, por lo que resulta aconsejable adoptar un concepto de estudios de reconocimiento.

A la vez, resultaría sumamente beneficioso que en esta etapa se lograra poder establecer criterios decisivos para la inversión, con lo que se podría evitar la necesidad de elaborar estudios más profundos.

A continuación se plantean dos factores que asignan una clasificación propia a los estudios de prefactibilidad, dependiendo de sus características siguientes:

##### 6.4.1.1 Tamaño de la Minihidroeléctrica:

Los requerimientos estimados de la inversión tendrán una proporción asignada para el estudio de reconocimiento y los cuales estarán íntimamente ligados a la magnitud del proyecto, a continuación se presenta una clasificación tentativa en dos rangos de potencia y las características que con lleva el estudio de prefactibilidad para ellas:

##### a. Potencia Menor (Inferior a 100 KW)

- Los caudales se determinan por métodos indirectos en períodos cortos, tratando de obtenerse datos generales en base a la apreciación cualitativa por muestreo de datos.

- Se usan métodos artesanales para la nivelación, tratando de eliminar el uso de levantamientos topográficos muy complejos, dando lugar a la utilización de mano de obra del lugar.
  - Calificación del terreno para la construcción por medio de apreciación cualitativa, no es indispensable la profundización en estudios complicados y de costo elevado.
  - Sobredimensionamiento y factores de seguridad más amplios en función de mayores márgenes de incertidumbre.
  - Inclinación a la utilización de métodos no convencionales, tratando de reducir los costos aún con sacrificio de determinados márgenes de confiabilidad y vida útil que nos proporciona el conocimiento de los esquemas convencionales.
- b. Potencia Mayor (Superior a 100 KW)
- Los caudales se determinan mediante aforos durante períodos largos de tiempo o bien aplicando modelos obtenidos del procesamiento de la información proporcionada por el estudio de la cuenca.
  - Levantamientos topográficos detallados de los puntos de mayor interés (toma, canal, cámara de carga, caída, casa de máquinas, descarga); nivelación cuidadosa de la caída y replanteo en los trazos de tubería. (Ver 6.2.1).
  - Aplicación de los métodos geológicos mencionados anteriormente (Ver 6.2.2) para verificar las características del terreno en las zonas de construcción de las zonas principales de la minihidroeléctrica.
  - Dimensionamiento más exacto y reducción de los factores de seguridad,

como resultado de estudios más profundos y por consiguiente costos más elevados que obligan optimización de resultados.

- No se considera un factor fundamental el uso de tecnología no convencional, aunque si tenga relevancia en el rango de potencias que se considera en algunos casos.

#### 6.4.2 Estudio de Factibilidad (Generalidades):

Por ser este discutible tema muy amplio para tratarlo detalladamente, me limitaré a hacer algunas observaciones al respecto.

Siendo uno de los aspectos característicos y esenciales del concepto de minihidroeléctrica la optimización, tanto de recursos económicos como de materiales y tiempo; resulta deseable que los estudios de reconocimiento (prefactibilidad), aporten la información necesaria para permitir la toma de decisiones en el renglón inversión, proporcionando la ventaja de poder omitir los estudios más profundos de factibilidad; permitiendo entrar directamente a los estudios de ingeniería de detalle del proyecto.

El estudio de factibilidad proporciona información que permite obtener variedad de datos con respecto a las características técnico-económicas, permitiendo la comparación de alternativas, y por consiguiente; la optimización de resultados.

#### 6.4.3 Generalidades de la Ingeniería de Detalle:

Comprende la aplicación de los diferentes componentes de la ingeniería, desde el proceso de programación de las diferentes etapas, análisis de costos, levantamientos topográficos, diseño estructural, diseño eléctrico, etc.

#### 6.4.3.1 Objetivos de los Estudios de Ingeniería de Detalle:

- Elaboración de los cronogramas de ejecución y programa de trabajo.
- Levantamientos topográficos complementarios.
- Investigación geotécnica en aquellos casos en que las dimensiones del proyecto lo amerite.
- Elaboración de un manual de características y especificaciones técnicas para la operación del proyecto.
- Profundizar en el diseño detallado de la obra civil, como en la clasificación de los materiales a usar.
- Para la adquisición del equipo electromecánico y auxiliar, desarrollar una investigación exhaustiva en el mercado, que permita una evaluación comparativa de las ofertas económicas como de las especificaciones técnicas; como base a una correcta toma de decisiones.
- Diseño detallado de instalaciones eléctricas y líneas de transmisión.
- Elaborar un plan para acometida de las fases de construcción de la obra civil, instalación del equipo hidráulico y electromecánico y puesta en operación de la minihidroeléctrica.

#### 6.4.3.2 Análisis Económico Complementario:

Como se mencionó en el numeral 6.3.2, es importante poder obviar los estudios de factibilidad muy estrictos, para lo cual el estudio de ingeniería debe incluir un análisis económico financiero complementario bajo los siguientes lineamientos:

- Análisis de Costos y Financiamiento del Proyecto.
- Programación del Flujo de Costos (Cash Flow).
- Requerimientos de mano de obra.
- Programación de los costos de operación y de la amortización de la deuda, en caso de utilización de créditos.
- Análisis de esquemas tarifarios.
- Énfasis en la importancia de programación real y organización de las etapas de construcción y de operación del proyecto.

6.4.3.3 Enfoque de los estudios de Ingeniería en función de la potencia de la Minihidroeléctrica:

Los alcances y objetivos de dichos estudios están relacionados con la magnitud de las inversiones previstas, las cuales están en relación directamente proporcional a la potencia del proyecto.

a. Potencias Inferiores a los 100 KW:

- El diseño no es estricto, permitiendo ser complementado durante la ejecución de la obra.
- Utilización de factores de seguridad altos para la etapa de diseño.
- Permite mayor utilización de mano de obra, así como de materiales locales.
- Adaptación de los planos al nivel de calificación de un maestro de obras.

- Para la toma de decisiones, ocupa un lugar relevante en la selección de los equipos como de la obra civil factores relativos a costos y simplicidad.
  - Uso más frecuente de tecnologías no convencionales, o sea de aquellos equipos diseñados y construidos por la capacidad tecnológica e industrial del país y con adaptación a las características o requerimientos del proyecto.
- b. Potencias Superiores a 100 KW:
- Diseños más elaborados y detallados que necesitan estudios y programación más complejos para su ejecución.
  - Derivado de lo anterior, por la mayor exactitud de los datos en proceso, se utilizan factores de seguridad menores en la etapa de diseño.
  - Por las características de mayor complejidad en su construcción, hay menor incidencia del empleo de materiales locales.
  - Los planos de construcción se deben adaptar al nivel de calificación de un Ingeniero Civil.
  - En la toma de decisiones ocupa un lugar relevante en la selección de los equipos como de la obra civil factores relativos a confiabilidad y vida útil.
  - Frecuente uso de tecnologías convencionales, o sea aquellos equipos y obra civil de alto costo y construídos con los más exigentes criterios de materiales y proceso de fabricación.

Los estudios para la inversión pueden ser realizados según sea el caso por distintos tipos de instituciones; a continuación se menciona algunas alternativas:

- Creación de una sección de proyectos e ingeniería en el Instituto Nacional de Electrificación que actúe específicamente en la implementación de Minihidroeléctricas, capaz del desarrollo de estudios de pre-inversión necesaria para aquellos proyectos que ofrezcan características de impulso a la economía de las poblaciones, principalmente de aquellos que están lejos de poder ser cubiertos por los medios convencionales de electrificación.
- Contratación de consultores idóneos, para lo cual se encuentran compañías con amplia experiencia, es importante el tratar de evitar el vicio frecuente de estudios con limitado contenido sustancial y gran volumen de información irrelevante. Algunas instituciones financieras plantean requisitos de calificación de los consultores y delimitan los alcances de los estudios, lo cual tiende a encarecer esta etapa del proyecto y convierte a los estudios de preinversión en elementos puramente formalistas alejados de la realidad.
- La oportunidad para profesionales independientes y con capacidades para encarar estudios de inversión de proyectos de minihidroeléctricas, así como en la iniciativa privada por medio de sus cámaras u asociaciones, la posibilidad de dar asistencia técnica a sus miembros, lo cual redundará en beneficios para los distintos aspectos económicos del país.

#### 6.5. Financiamiento de proyectos de Minihidroeléctricas:

Las necesidades en materia de electrificación en zonas rurales y aisladas son de gran magnitud en Guatemala y excede abundantemente la dis-

ponibilidad de recursos económicos y financieros que el país puede dedicar a este objeto.

Con excepción de los autoprodutores, los proyectos de minihidroeléctricas atenderán en su gran mayoría a poblaciones que tienen capacidad económica reducida y por consiguiente, no están en capacidad de financiar la totalidad de las inversiones; en estas circunstancias se requiere un apoyo considerable del presupuesto nacional.

Sería de capital importancia la creación de fondos financieros para el desarrollo de electrificación de zonas rurales y aisladas que tuvieran en cuenta desarrollo de minihidroeléctricas, tanto en la etapa de estudios como en la ejecución.

#### 6.5.1 Captación de Recursos Financieros:

Para promover el desarrollo de proyectos de minihidroeléctricas, es necesaria la definición de políticas adecuadas, mediante la canalización de los recursos financieros específicos para este fin.

En el caso Estatal por medio de una Institución financiera gubernamental o bien por el Instituto Nacional de Electrificación; en el caso privado las distintas cámaras o bien los mismos bancos del sistema.

A continuación se mencionan algunas formas de captación de los recursos financieros:

##### 6.5.1.1 Línea de Créditos Internacionales:

Podemos definir dos tipos; aquellos casos en los que instituciones financieras internacionales proporcionan capital necesario para inversión sin condicionar determinados suministros o contrataciones; por otra parte, aquellas provenientes de países interesados en promover sus ventas de equipos e ingeniería mediante la promoción financiera.

Los segundos resultan aceptables siempre que se refieran a aquellos renglones que no se producen en el país y que luego de una investigación de ofertas que incluya las características técnicas, precios y las condiciones financieras, se determine que resulta la alternativa más conveniente. Es frecuente que se incurra en el error de adquirir equipos excesivamente costosos o poco adecuados a las condiciones reales, debido al atractivo de ciertas condiciones "blandas" de financiamiento.

Es beneficioso negociar la apertura de líneas de crédito específicas, definiendo algunas condiciones de financiamiento, preparando de esta manera la obtención del mismo para conjuntos de proyectos. Al mismo tiempo, se deben acordar criterios y términos de referencia para la elaboración de estudios en base a elementos comprobables, para lo cual sería importante la publicación de guías para la elaboración y evaluación de proyectos.

#### 6.5.1.2 Líneas de Créditos Nacionales:

Se pueden gestionar con las instituciones financieras de fomento industrial y agrícola.

Además, se cuenta con instituciones financieras de fomento municipal y de cooperativas.

Canalizando este financiamiento principalmente para suministros de equipos y de materiales de fabricación nacional.

#### 6.5.1.3 Asignación Presupuestal del Estado a través de su Ministerio de Energía y Minas o bien del Instituto Nacional de Electrificación:

Se pueden asignar recursos que guarden cierta proporción con el financiamiento que es posible conseguir, ésto en función de los planes de desarrollo y sus programas anuales de implementación.

Estos pueden formar parte de aquellos recursos que se invierten a "fondo perdido".

Podría establecerse como un porcentaje de las utilidades de ciertos rubros del Instituto Nacional de Electrificación.

#### 6.5.1.4 Aportes de la Comunidad:

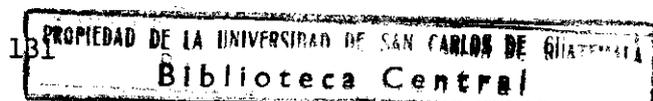
Deben definirse desde la etapa de realización de estudios para la inversión, es conveniente considerar el aporte de la comunidad como parte de las inversiones, para lo cual se requiere una adecuada valorización.

Los aportes de la comunidad se dan principalmente en aquellos casos de minihidroeléctricas para servicio público en poblaciones aisladas; consistiendo en mano de obra no calificada para la obra civil, materiales (principalmente agregados), y servicios (acarreo local, transporte local, almacenamiento, vigilancia, etc.).

#### 6.5.2 Recuperación de la Inversión:

Conforme se adoptan medidas de recuperación parcial de las inversiones, el fondo de financiamiento tendría el carácter de un fondo rotatorio.

Independientemente del esquema de recuperación de inversiones y aún para el caso de "Fondo Perdido Integral", es necesario considerar que los proyectos deben generar fondos mínimos suficientes para cubrir sus propios gastos de operación y mantenimiento, ya que si no se asegura ésto es muy probable que la minihidroeléctrica quede paralizada ante el primer problema operativo que se presente o quede amenazada la integridad de las instalaciones, considerando que sería difícil concebir un esquema de aportes no recuperables en forma permanente paralelamente a un crecimiento sostenido de la implementación de Minihidroeléctricas.



Las proporciones del financiamiento, aportes presupuestales, aportes comunales, así como el financiamiento privado, deben definirse en sus lineamientos generales.

En los casos principalmente de servicio público, se puede adoptar un criterio tripartito, que consistiría en dividir la inversión en tres partes aproximadamente iguales, a ser financiadas con créditos, aportes presupuestales y aportes comunales.

Los criterios para la recuperación de las inversiones deben ser parte de la política de financiamiento, dependiendo de las posibilidades tarifarias para el caso estatal o minihidroeléctricas de servicio público que contemplan objetivos de desarrollo energético rural o comunal; no así las de carácter privado, que tendrían necesariamente estar concebida en un contexto de recuperación total de la inversión como mínimo, más lo suficiente para cubrir sus propios gastos de operación y mantenimiento.

A continuación señalamos tres casos típicos de recuperación de la inversión, pudiendo adoptarse soluciones intermedias.

#### 6.5.2.1 Fondo Perdido Integral:

Este caso por ser representativo de una política de asistencia total, no contempla recuperación alguna de la inversión.

En este caso los aportes presupuestales y el financiamiento son asumidos por el estado o la entidad que tuviera a su cargo el desarrollo del proyecto; planteándose sistemas tarifarios para cubrir los gastos de operación y mantenimiento de la minihidroeléctrica.

Este esquema permite desarrollar minihidroeléctricas en zonas

donde la población tiene muy bajos recursos, debido a la limitada capacidad de financiamiento, es muy reducido el número de minihidroeléctricas que se pueden construir.

#### 6.5.2.2 Fondo Perdido Parcial:

Representa también una política de asistencia para poblaciones, también para cooperativas y pequeños productores asociados.

En este caso es frecuente considerar los aportes presupuestales y los aportes comunales o de grupos de pequeños productores como parte del fondo perdido, debiendo recuperarse mediante el sistema tarifario los aportes obtenidos a base de créditos.

#### 6.5.2.3 Recuperación Integral de la Inversión:

Es la política aplicable en los casos de construcción de minihidroeléctricas por la iniciativa privada, que son dedicadas principalmente a actividades productivas rentables (minería, empresas agro-industriales y otras).

Resulta ideal desde el punto de vista financiero, pero en general no resulta aplicable para el desarrollo energético rural, pues restringe considerablemente las posibilidades de implementación a aquellos casos donde los ingresos que se pueden obtener de la producción de la minihidroeléctrica, cubren la amortización e intereses del capital en un período dado, para posteriormente pasar a ser una ganancia neta.

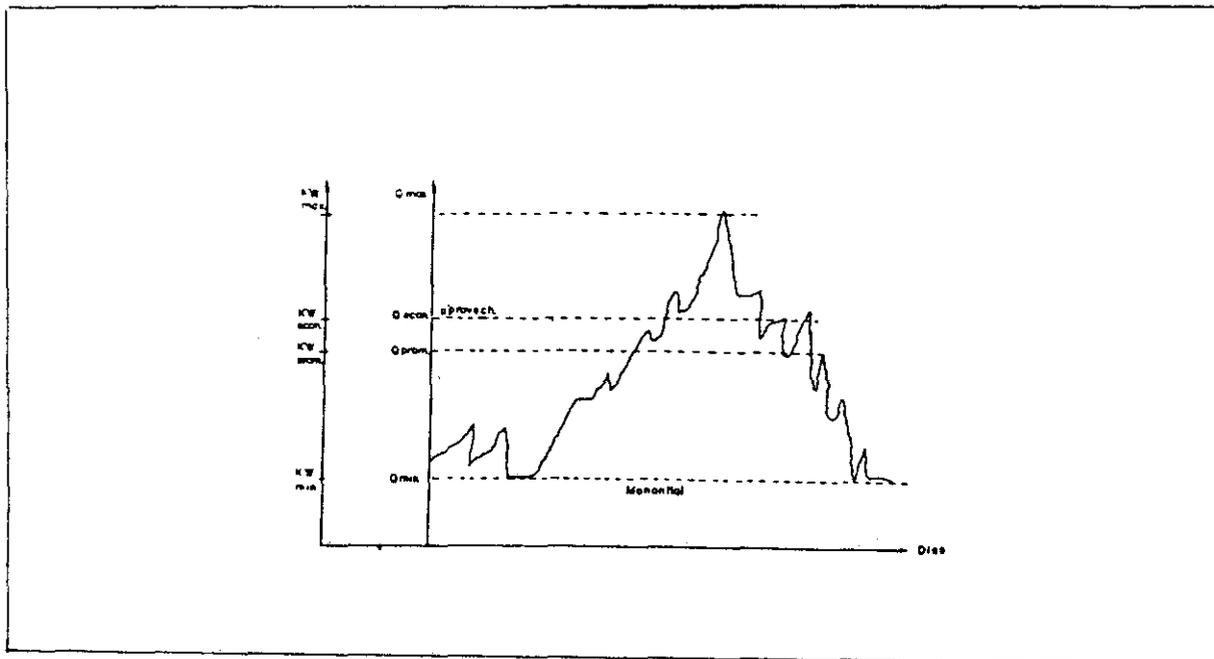


Fig. 6.1 Curva de potencia y caudal diario

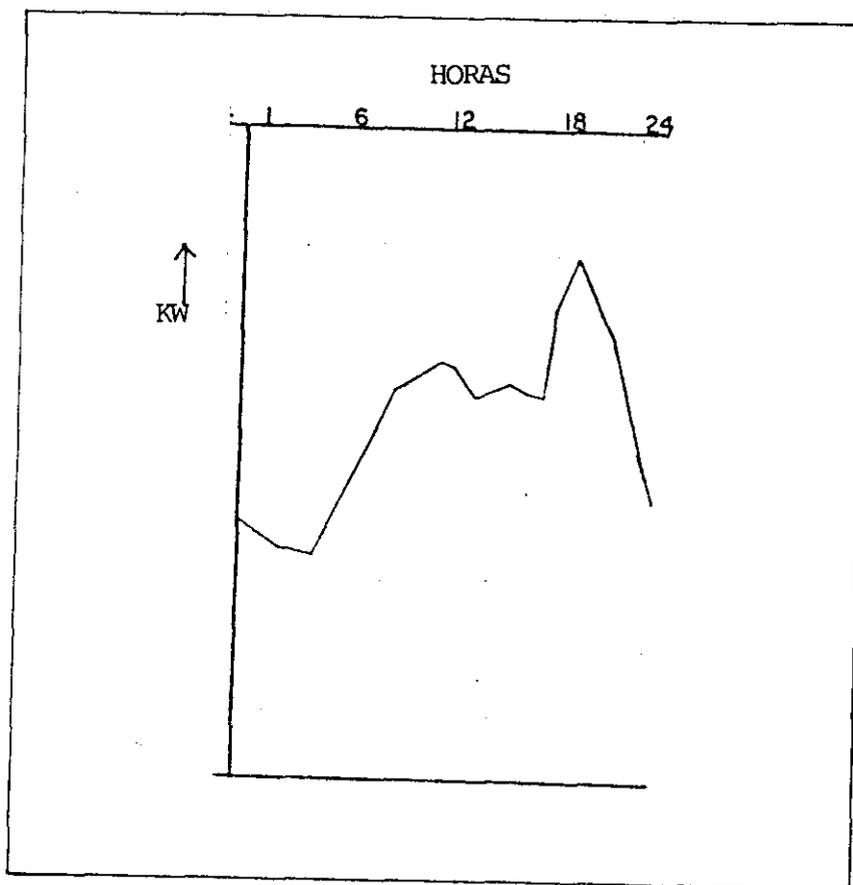


Fig. 6.2 Carga eléctrica del sistema.

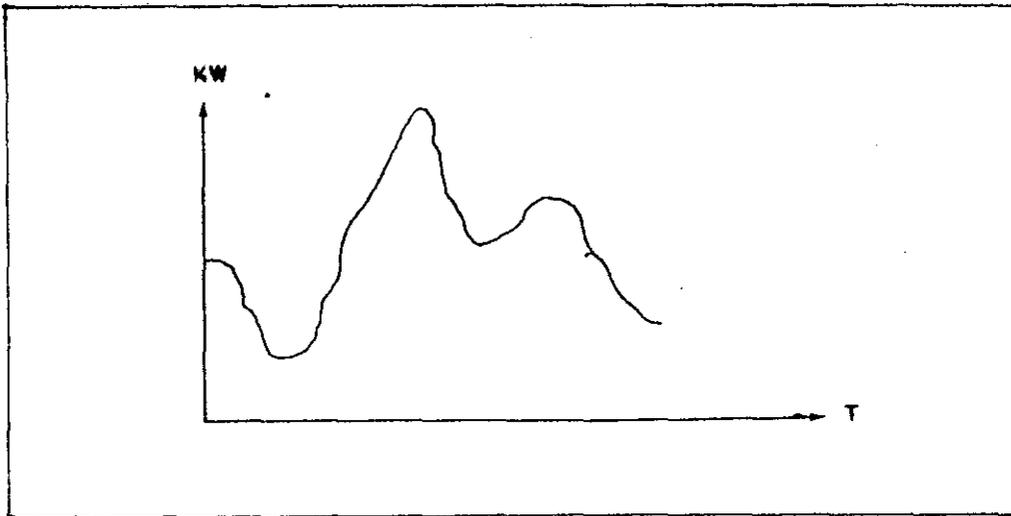


Fig. 6.3 Curva tipo de consumo industrial

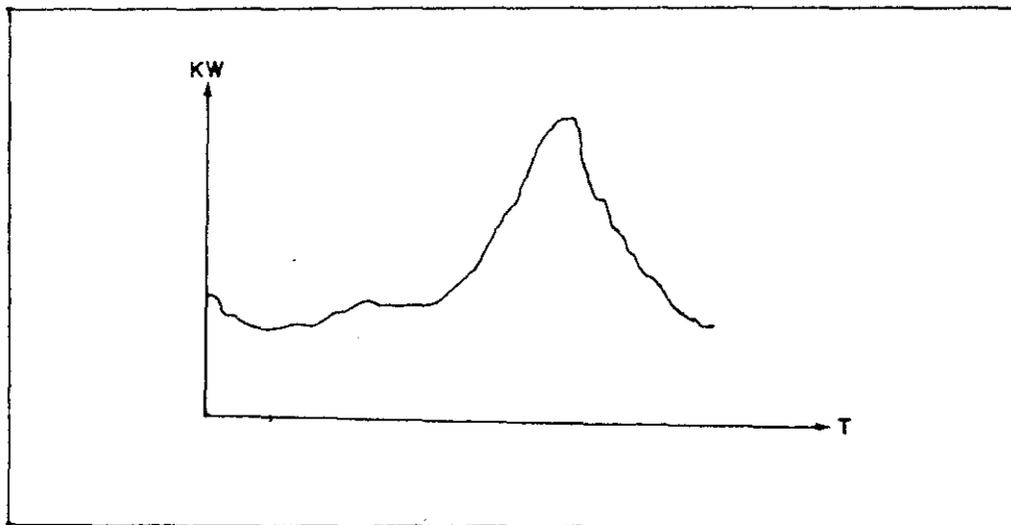


Fig. 6.4 Curva de consumo de una zona residencial.

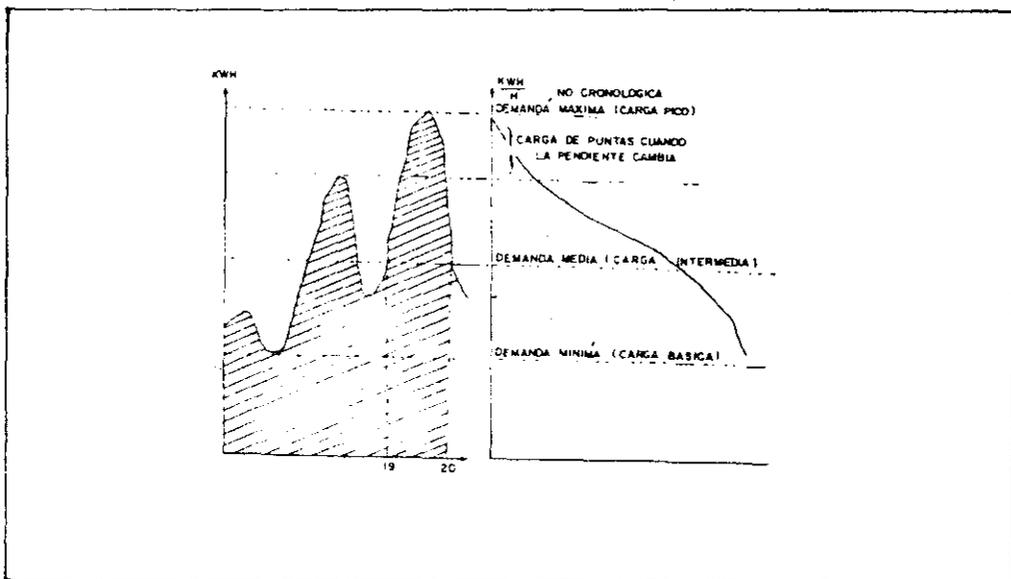


Fig. 6.5 Curvas de carga cronológica.

## 7. COSTOS:

En este capítulo se presentan algunos lineamientos cuantitativos para estimar costos de una central minihidroeléctrica para fines de estudio a nivel de planeamiento y determinación de órdenes de magnitud solamente, ya que es imposible determinar previsiones confiables de costos para proyectos específicos a partir de indicadores globales, requiriéndose en cada caso de un análisis particularizado de la estructura de los costos, en función de las características específicas del proyecto.

En las figuras que se muestran más adelante, se dan indicadores de costos unitarios para las inversiones totales en centrales Minihidroeléctricas, así como para sus tres principales componentes; estudios de pre-inversión, equipamiento y obras civiles. Las curvas han sido preparadas a partir de la información proporcionada por OLADE, la cual llevó a cabo una investigación por varios países de América Latina; en consecuencia, sería recomendable que en Guatemala alguna institución relacionada con el tema elaborara las curvas correspondientes a nuestra propia realidad, lo cual puede ser aproximado con algunos puntos experimentales que determinen factores de corrección a las gráficas que se presentan en este trabajo de tesis.

### 7.1. Costos Unitarios de una Minihidroeléctrica:

En la figura 7.1 se muestran costos unitarios totales de centrales minihidroeléctricas en dólares por KW instalado de la planta para diversas potencias y saltos.

#### a. Consideraciones en la preparación de la Gráfica de Indicadores Referenciales de Costos Unitarios de Inversión:

- Se procesaron datos de varios proyectos en algunos de los países

de Latino América, con índices de correlación con respecto al gráfico del orden de 70%, lo que nos da un regular criterio de confiabilidad.

- Las curvas inferiores con respecto a la alternativa de tecnologías no convencionales están preparadas como complemento de los costos de estudio con los del equipamiento y las obras civiles, para equipos de suministro nacional.
- Los costos están referidos a información del año 1980, habiéndose ajustado los valores de la información empleada según los índices que se muestran en la figura 7.2, que muestra un escalamiento en los costos con respecto al tiempo.
- Las curvas que se presentan tienen sólo valor estadístico relativo, en la medida que pueden esperarse variaciones considerables de un país a otro con respecto a proyectos específicos.
- Las mencionadas divergencias con respecto a cada país puede deberse a:
  - Disponibilidad y costos de la mano de obra distintos en cada país.
  - Disponibilidad y costos de los materiales de construcción.
  - Costos y fletes del equipo que se adquiere.
  - Costos de Ingeniería.
  - Condiciones geográficas y accesibilidad del proyecto.

- Dificultad en la adquisición de divisas.
  - Variación de los índices de escalamiento de costos en el tiempo.
- Las variaciones con respecto a cada proyecto específico se deben a:
- Distancias y accesibilidad del proyecto.
  - Características físicas (geología, hidrología, geomorfología, mecánica de suelos, ecología, etc.).
  - Variaciones en el tipo y magnitud de la obra civil a construir.
- b. Conclusiones de la gráfica de Indicadores Referenciales de los Costos Unitarios de Inversión:
- El costo básico del KW instalado para centrales Minihidroeléctricas, puede variar entre 1,000 y 5,000 dólares.
  - Los costos unitarios se incrementan rápidamente para las potencias menores.
  - Las centrales con saltos reducidos representan costos mayores que las centrales con saltos mayores.
  - El empleo de tecnologías no convencionales, o sea aquellos diseños que se adaptan a los medios y tecnología adecuados al nivel industrial y económico del país; determina costos unitarios menores que los correspondientes a tecnologías convencionales y equi-

pos importados. Aunque se debe anotar que esta ventaja tiende a disminuir paralelamente al incremento de la potencia del proyecto.

## 7.2 Costos Unitarios de Estudios de Pre-Inversión:

Tal como se señala en el numeral 6.4, frecuentemente se incide en costos de estudios desproporcionados en relación con la inversión final, siendo conveniente que se establezcan límites a esos costos de estudios como un porcentaje del costo total del proyecto.

Como referencia en la figura 7.3, se proponen valores máximos deseables de costos de los estudios. Si bien se recomienda que se puedan definir para Guatemala como parte de una política de desarrollo de centrales minihidroeléctricas, relacionándolos con los alcances mínimos requeridos para los estudios.

## 7.3 Costos Unitarios del Equipo Electromecánico:

En las figuras 7.4 y 7.5, se muestran los costos unitarios del equipamiento electromecánico para equipos importados de fabricantes de países desarrollados y equipos de fabricación nacional con tecnologías desarrolladas o adaptadas en el país y no sujetas al pago de impuestos.

### a. Elementos que conforman el Equipo Electromecánico:

- Turbina
- Gobernador de velocidad
- Generador
- Tablero de mandos
- Instalación (sin los anclajes).

- b. Aspectos involucrados en la preparación de las Gráficas de Costo por KW instalado del Equipo Electromecánico Convencional y Gráfica de Costo por KW instalado del Equipo Electromecánico no Convencional:
- Para la gráfica de Costos del Equipo Electromecánico Importado, se han procesado datos de 25 casos y las gráficas tienen un coeficiente de correlación del 97%.
  - Para la gráfica de Costos del Equipo Electromecánico con tecnología y fabricación nacional, se han procesado datos de 10 casos.
  - Se debe considerar que existe un rango de variación, el cual puede ser causado por:
    - Fletes y seguros.
    - Aranceles de Importación.
    - Impuestos.
    - Transporte local.
    - Cambio del Quetzal y dificultad de obtener divisas.
    - Variación de los índices de escalamiento de precios con respecto al tiempo.
  - Las variaciones entre proyectos específicos pueden ser causados por:
    - Accesos y fletes locales.

- Costos de Instalación.
- En los costos del equipamiento está implícita la selección del tipo óptimo de turbina para cada caso según el salto y la potencia.
- c. Conclusiones de las Curvas de Costos Unitarios del Equipamiento Electromecánico:
  - Los costos unitarios del equipamiento electromecánico para centrales minihidroeléctricas pueden variar entre 300 y 3,000 dólares por KW instalado.
  - Los costos unitarios se incrementan rápidamente para las potencias menores.
  - Los costos unitarios se incrementan rápidamente para los saltos menores en una proporción de tres a uno para saltos de 5 metros y 200 metros respectivamente.
  - En general, los equipos de fabricación y tecnologías nacionales pueden costar la mitad de sus equivalentes importados.

#### 7.4 Costos Unitarios de la Obra Civil:

En la figura 7.6, se muestran factores de costos unitarios de las obras civiles, los cuales se pueden considerar solamente como una referencia, pues existen diferentes elementos que involucran variantes.

- a. Componentes de la Obra Civil:
  - Excavaciones, limpia y construcción para:
    - Presas y Toma.

- Canal.
- Cámara de Carga.
- Desarenador.
- Tubería y Anclajes.
- Accesorios (Compuertas, rejillas, válvulas, etc.).
- Casa de Máquinas y Anclajes del Equipo.
- Canal de retorno al cauce.

Estos elementos no consideran los sistemas de transmisión y distribución eléctrica.

- b. Elementos involucrados en la elaboración de la Curva de Costos por KW instalado de la Obra Civil en Minihidroeléctricas:
- Son una correlación aproximada de la diferencia entre los costos unitarios totales menos los costos de estudios y los costos del equipamiento, obtenidos de valores de 25 proyectos con una correlación del 60%.
  - Las variaciones sobre casos específicos son muy amplias.
  - La variación entre distintos casos puede ser causada por:
    - Costos y disponibilidad de Materiales para la Construcción.
    - Costos de Mano de Obra.

- Condiciones geográficas y acceso.
  - Características físicas del proyecto. (Geología, Geomorfología, Hidrología, Mecánica de Suelos, Longitudes de Canal, Topografía, Agregados, etc.).
  - Métodos y Control de Construcción.
  - Profundidad de los estudios de Ingeniería.
  - Experiencia de Ingeniería de Diseño.
- c. Conclusiones de las Curvas de Costos Unitarios de la Obra Civil:
- Son válidas solamente para fines de estimación aproximada a nivel de planeamiento.
  - Los costos unitarios de las obras civiles pueden variar entre 450 y 1,800 dólares por KW instalado.
  - Los costos unitarios se incrementan para las potencias menores, pero no con la proporción del equipo electromecánico.
  - Los costos unitarios se incrementan para los saltos más elevados, pero en forma más suave e inversa que para el caso del equipamiento.
  - A iguales condiciones, el empleo de tecnología no convencional tiene mayores ventajas económicas que el uso de tecnología convencional, siendo más significativa esa ventaja para potencias menores.
- Pues es de tomar en cuenta las limitaciones de la tecnología e industria nacional para potencias mayores.

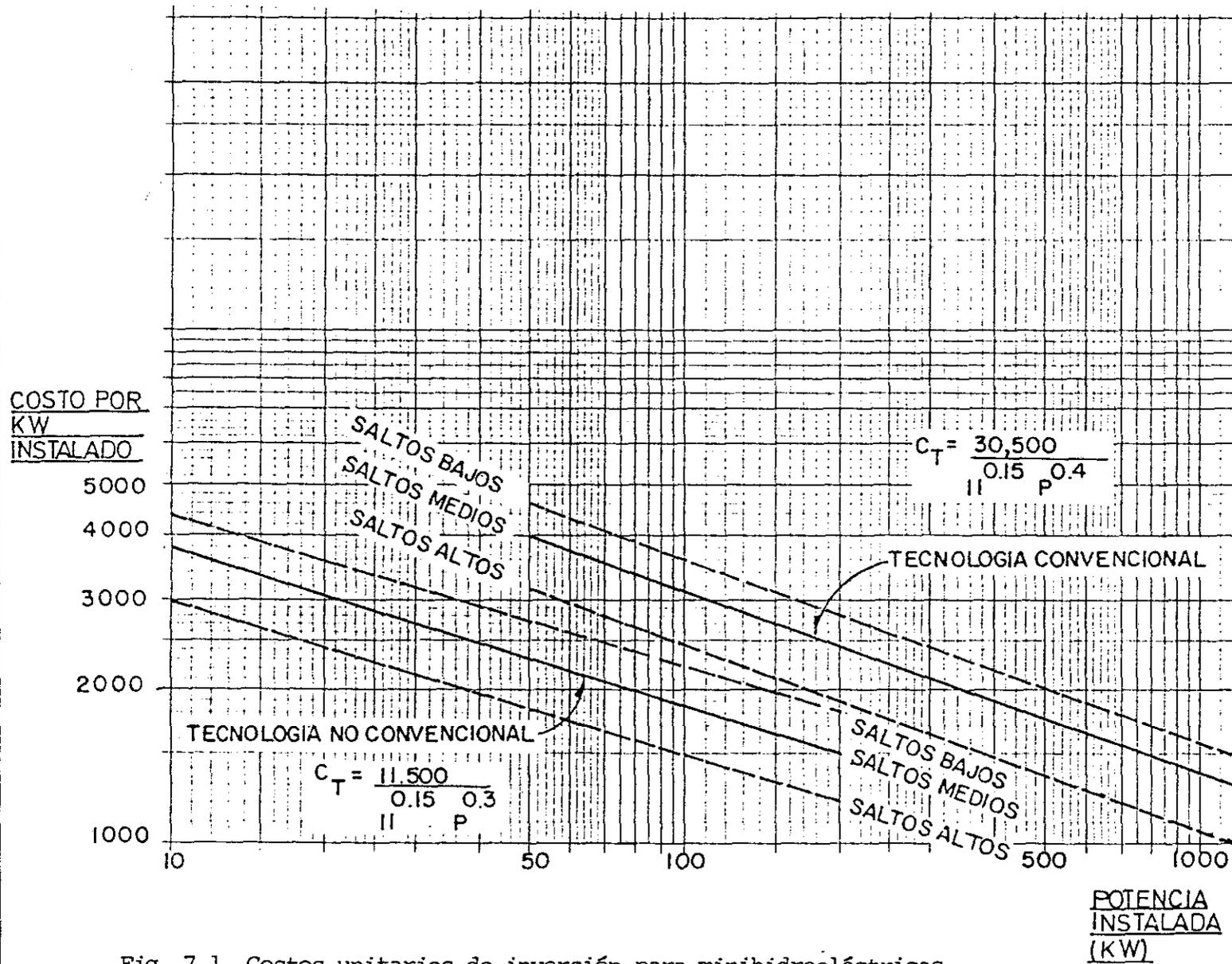


Fig. 7.1 Costos unitarios de inversión para minihidroeléctricas.

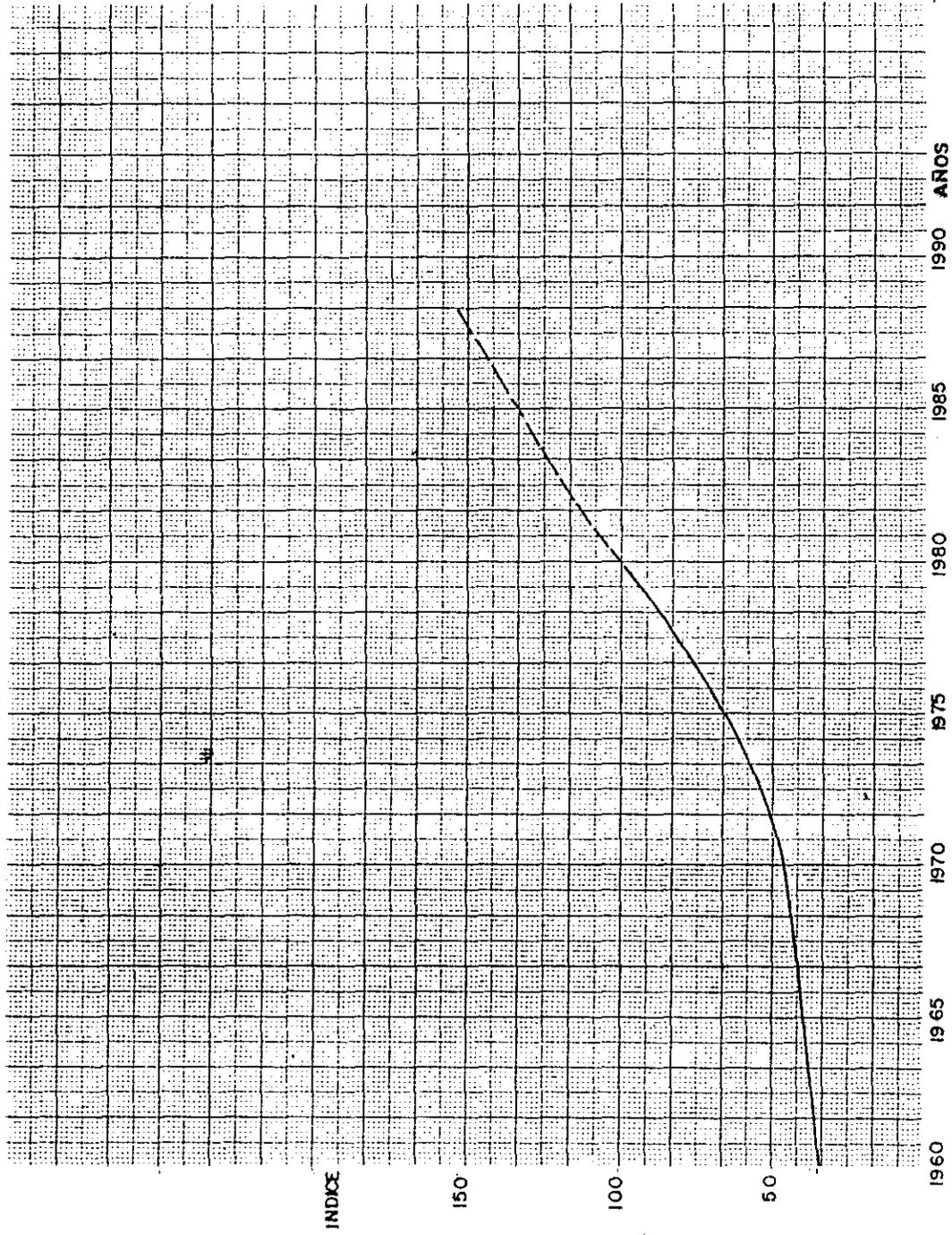


Fig. 7.2 Índice de aumento del costo de los bienes.

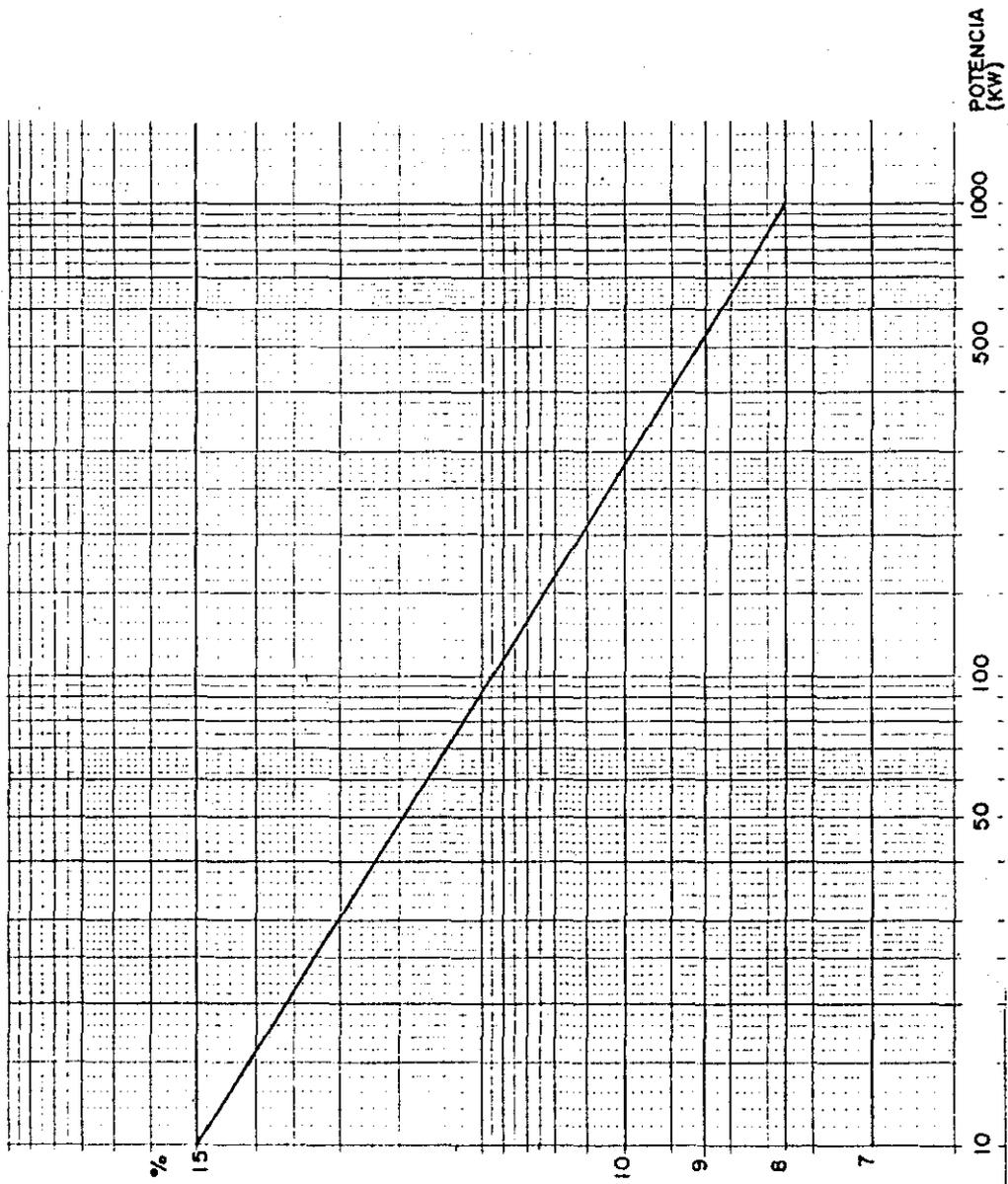


Fig. 7.3 Porcentaje máximo del costo total correspondiente a los estudios.

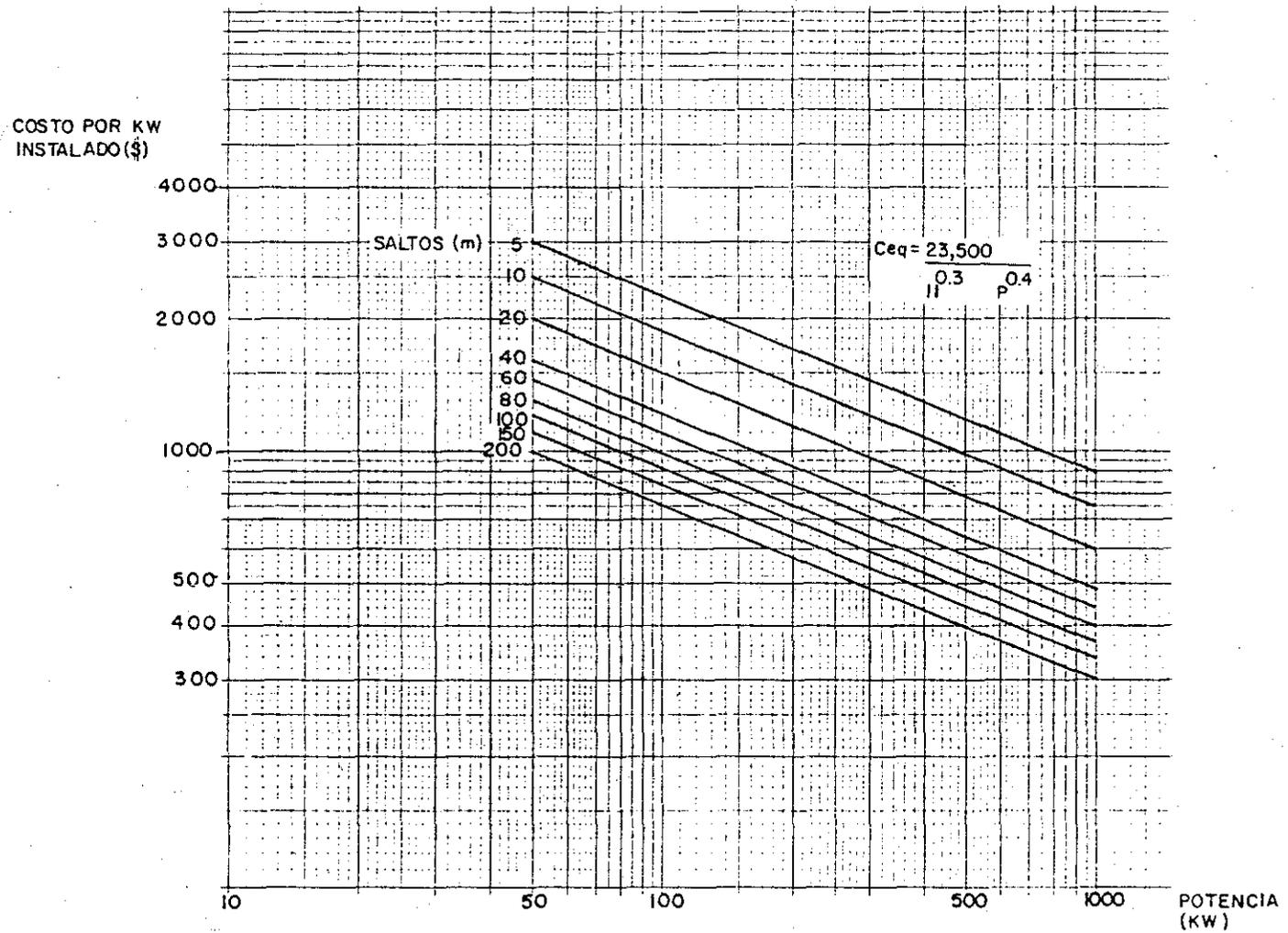


Fig. 7.4 Costo por KW instalado del equipamiento electromecánico importado.

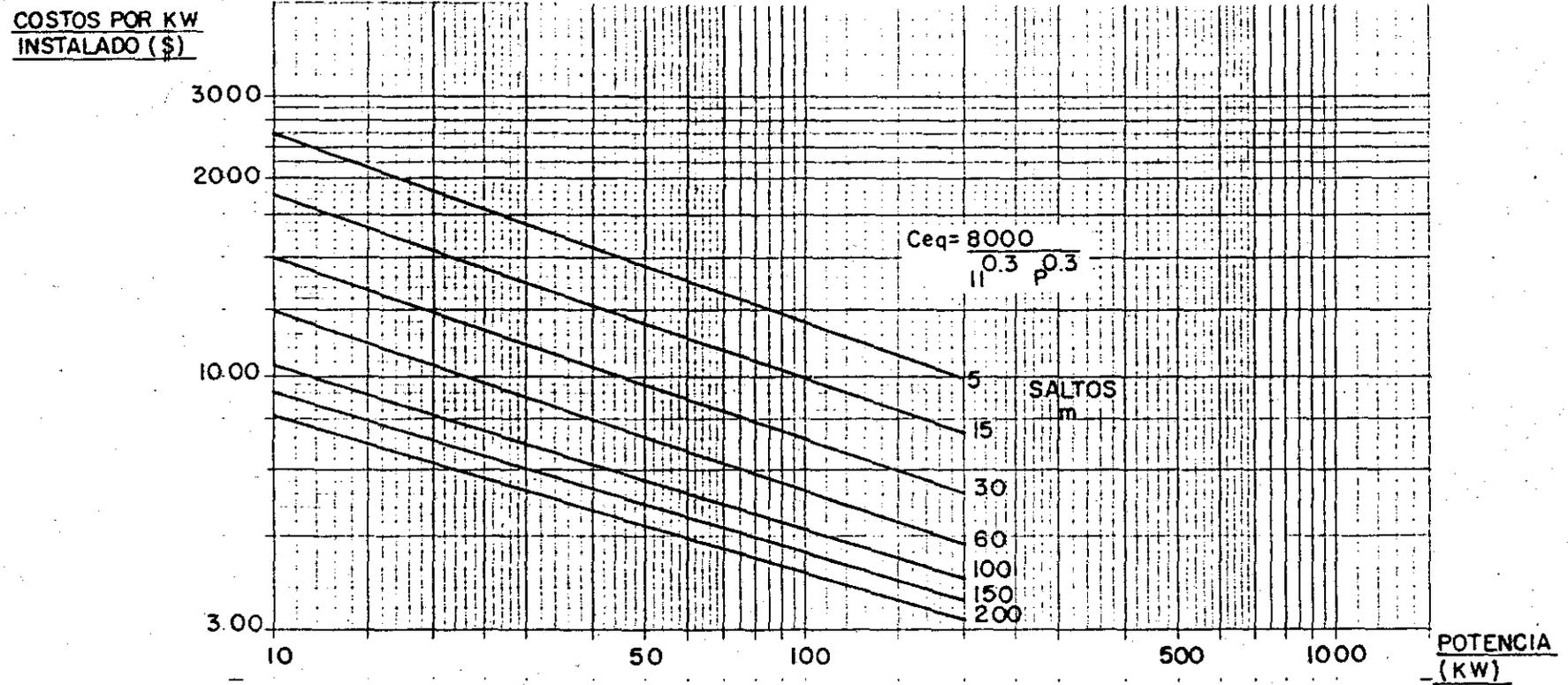


Fig. 7.5 Costo por KW instalado del equipamiento electromecánico con tecnología y fabricación nacional.

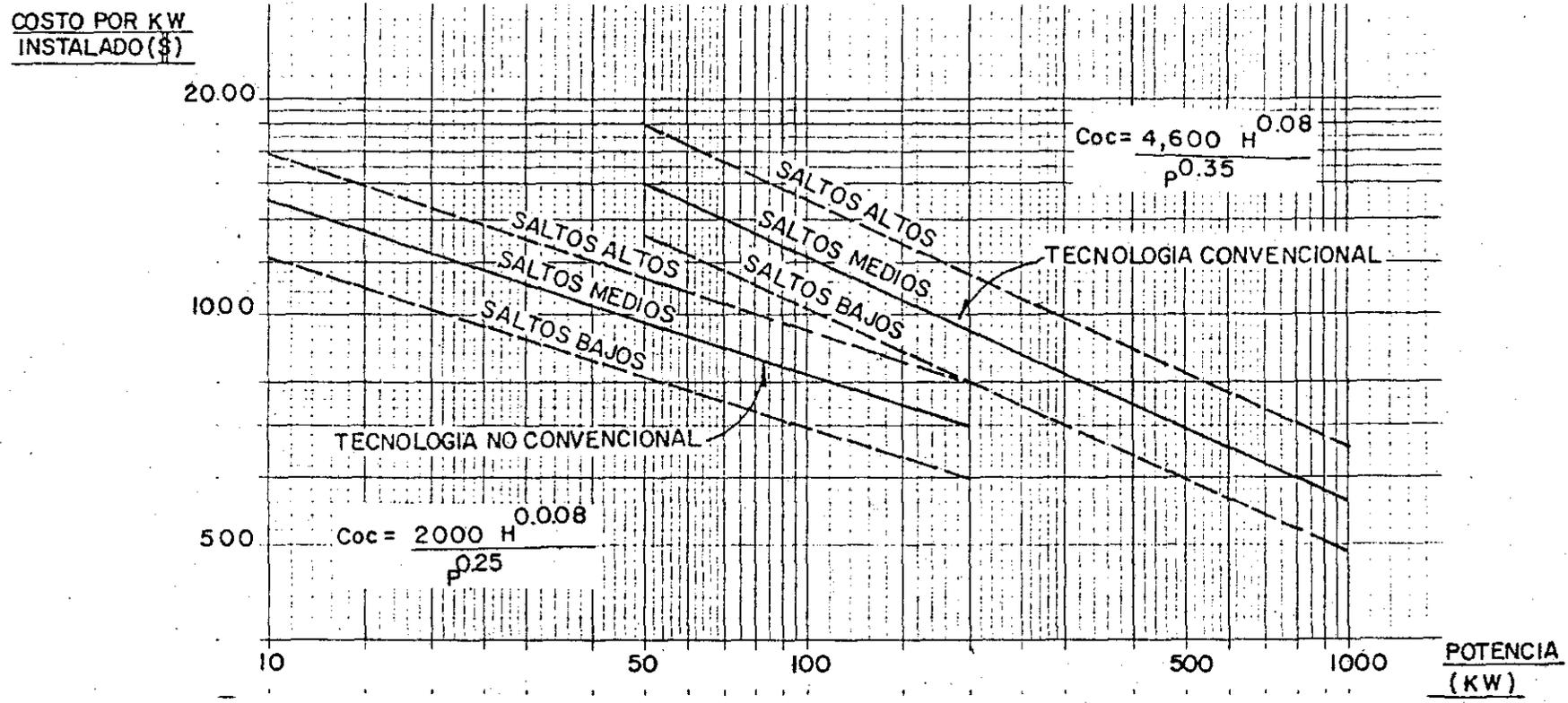


Fig. 7.6 Costos por KW instalado de las obras civiles para mini-hidroeléctricas.

## 8. CONCLUSIONES

- a. Por ser Guatemala un país en pleno proceso de desarrollo general es necesario contemplar alternativas de producción energética, que puedan en caso necesario complementar los sistemas actuales de generación.
- b. Como lo demuestra la historia, la generación hidráulica ha jugado un papel importante en el desarrollo nacional aunque tuvo un período de receso para dar paso a la generación por medio de los derivados del petróleo, actualmente se perfila como el medio más accesible económica y tecnológicamente.
- c. Actualmente una gran porción del territorio nacional ya se encuentra cubierto por el Sistema Interconectado del INDE, pero existen muchas comunidades aisladas, así como centros de producción tanto individuales o en cooperativas que dependen de los derivados del petróleo o simplemente de la leña para su producción de energía.
- d. Considerando que los países altamente desarrollados están llegando al máximo de la explotación de sus potenciales hidroenergéticos, es evidente que estos países aspiran a que los países en desarrollo como Guatemala maximicen el empleo de sus recursos energéticos renovables, a fin de incrementar la disponibilidad de derivados del petróleo.
- e. El país cuenta con un amplio potencial hidrológico, que es necesario contemplar como una posible solución para las necesidades constantemente en aumento.

- f. La alternativa hidráulica cuenta con ventajas sobre los otros sistemas alternos existentes para la generación energética; estas últimas se justifican económicamente para potencias muy reducidas.
- g. Una minihidroeléctrica es algo más que una central hidroeléctrica en pequeño, es decir que debe tratarse de observarla como lo es sin la influencia de conocimientos y criterios existentes sobre las grandes hidroeléctricas aunque guarden semejanza.
- h. Existe una amplia gama de tipos de turbinas, equipo eléctrico, mecánico y obras civiles que le dan a las minihidroeléctricas características de versatilidad ante los diferentes requerimientos de instalación y generación.
- i. En Guatemala se cuenta actualmente con talleres capaces de construir el equipo necesario para minihidroeléctricas, tanto hidráulico como eléctrico, algunos talleres tienen experiencia de varios años de instalación, mantenimiento y elaboración del mismo.
- j. De los estudios y observaciones que se desarrollen para la implementación de una minihidroeléctrica, depende la efectividad en su funcionamiento y la obtención de los beneficios esperados.
- k. Actualmente existen algunas organizaciones internacionales que apoyan la implementación de minihidroeléctricas tanto de uso público como privado, como una alternativa para la solución de parte de los requerimientos energéticos, proporcionando asistencia tecnológica y asesoría.
- l. Con relación a los costos unitarios de inversión éstos aumentan para potencias menores, así como para caídas menores. Con el empleo de tecnologías no convencionales, o sea aquellos diseños que se adaptan al medio y tecnología adecuados al nivel industrial y económico del país, se determinan costos unitarios menores que los de tecnología convencional y equipo importado.

## 9. RECOMENDACIONES

- a. Es necesario plantear que el desarrollo hidroenergético debe tener la primera prioridad entre las alternativas energéticas en Guatemala, situando a las minihidroeléctricas como un elemento importante en la explotación de este potencial nacional.
- b. Es conveniente promover actividades de investigación y aplicación de otras fuentes renovables de energía, dándole prioridad a tecnologías probadas y que permitan al país la oportunidad de contribuir a su propio desarrollo, con la participación de mano de obra, técnicos y profesionales locales.
- c. Dado que el principal problema para el desarrollo hidroenergético por medio de minihidroeléctricas en nuestro medio es el financiero, es necesario tratar de captar recursos financieros de las entidades que actualmente prestan asistencia económica a proyectos de desarrollo energético.
- d. Es necesario que las entidades involucradas en el desarrollo energético, impulsen la evaluación integral de los recursos hidroenergéticos nacionales, por medio de la preparación de un inventario a nivel nacional que comprenda:
  - Potencial explotado actualmente
  - Potencial por explotar (El INDE lo ha desarrollado. Ver referencias).
- e. Se hace necesario promover acciones de largo alcance para la protección de cuencas, para garantizar el recurso hidroenergético, protección del suelo y del medio ambiente en general.

- f. Es importante crear un fondo nacional para financiar los aportes requeridos para sustentar los programas de desarrollo de minihidroeléctricas, asegurar la contraparte nacional para complementar el financiamiento externo y contribuir a dar la base financiera para ampliar los suministros nacionales de materiales y equipos para minihidroeléctricas.
- g. Aprovechar la asistencia de los distintos organismos, que a nivel internacional promueven los proyectos de explotación de fuentes nuevas renovables de energía para dar mayor capacitación a técnicos y profesionales nacionales sobre los avances tecnológicos que en la materia se han alcanzado mundialmente.
- h. Interesar al estudiante universitario, principalmente al de ingeniería en todos los renglones de la producción energética, en especial en aquellos que tratan de la explotación de los recursos nuevos y renovables, entre los que se puede considerar a las minihidroeléctricas como uno de los mayores exponentes.

## 10. REFERENCIAS

1. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)  
MINICENTRALES HIDROELECTRICAS  
Serie de Publicaciones Especiales. Quito, Ecuador, 1981
2. National Rural Electric Cooperative Association (NRECA)  
SMALL HYDROPOWER IN AFRICA  
Mbalbane, Swazilandia, Junio de 1983.
3. Moteurs Leroy - Smer  
CATALOGOS DE GRUPOS BULBO HYDROLEC PARA MINICENTRALES HIDROELECTRICAS. París, Francia, 1982
4. SOGREAH Ingenieurs Conseils  
CATALOGO DE PROYECTOS DE MINIHIDROELECTRICAS EN ASIA.  
París, Francia, 1982
5. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)  
MANUAL DE DISEÑO, ESTANDARIZACION Y FABRICACION DE TURBINAS  
MICHELL - BANKI VOLUMEN 1.  
Serie: Documentos del Programa Latinoamericano de Cooperación  
Energética. Quito, Ecuador, 1982
6. Instituto Nacional de Electrificación (INDE)  
PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN GUATEMALA, INFORME  
ESTADISTICO DEL AÑO DE 1982.  
Guatemala, Guatemala.
7. Instituto Nacional de Electrificación (INDE)  
PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN GUATEMALA, INFORME  
ESTADISTICO DEL AÑO DE 1983.  
Guatemala, Guatemala.

8. Viejo Zubicaray y Alonso  
ENERGIA HIDROELECTRICA, TURBINAS Y PLANTAS GENERADORAS  
Editorial Limusa. México D.G., México, 1977
9. Consorcio Lahmeyer International GMBH, Motor-Columbus S.A.,  
International Engineering Co. Inc. (LAMI)  
ANALISIS DE ASPECTOS SOCIOECONOMICOS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO  
PUEBLO VIEJO-QUIXAL.  
Guatemala, Guatemala, 1975
10. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)  
CONCLUSIONES DE LA REUNION TECNICA REGIONAL SOBRE HIDROENERGIA.  
Quito, Ecuador, 1981
11. Hans W. Hamm  
LCW COST DEVELOPMENT OF SMALL WATER POWER SITES  
A VITA Publication. Maryland, USA, 1981
12. Instituto Nacional de Electrificación (INDE)  
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS  
Departamento de Planificación  
Guatemala, Guatemala.
13. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)  
REQUERIMIENTOS Y METODOLOGIAS PARA LA IMPLEMENTACION MASIVA DE  
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS EN LATINOAMERICA.  
Quito, Ecuador, 1980.
14. "Universidad de San Carlos de Guatemala"  
COSTO DE LA VIDA, USAC IIES  
Guatemala, Guatemala, 1982
15. Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica  
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 1979-1982 SECTOR PUBLICO  
Guatemala, Guatemala

16. Instituto Nacional de Electrificación (INDE)  
PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION NACIONAL  
Guatemala, Guatemala.
17. Secretaría del Tratado General de Integración Económica Centro-  
Americana (SIECA).
  - a. LOS RECURSOS ENERGETICOS EN CENTRO AMERICA Y LA CAPACITACION PARA  
DESARROLLAR UNA TECNOLOGIA APROPIADA AL MEDIO.  
Guatemala, 1982
  - b. EL DESARROLLO DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDRAULICAS EN CENTRO-  
AMERICA Y LA PEQUEÑA INDUSTRIA.  
Guatemala, 1982
18. WATER POWER AND DAM CONSTRUCTION
  - a. Septiembre de 1979
  - b. Noviembre de 1979
  - c. Septiembre de 1981
  - d. Noviembre de 1981
  - e. Diciembre de 1982
  - f. Febrero de 1983
  - g. Marzo de 1983
  - h. April de 1983
  - i. Mayo de 1983
  - j. Febrero de 1984
  - k. Febrero de 1984