

15900

FUNDACION MARIANO OSPINA PEREZ



"VIABILIDAD DE LAS MICROCENTRALES  
HIDROELECTRICAS EN COLOMBIA"

Por :

✓  
Oscar Chaquea Blanco  
Jaime Lobo Guerrero  
John D. Burton  
Constantino Casasbuenas M.



200

15900

BIBLIOTECA AGROPECUARIA  
DE COLOMBIA

18 JUL 1984

FUNDACION MARIANO OSPINA PEREZ

✓ VIABILIDAD DE LAS MICROCENTRALES

HIDROELECTRICAS EN COLOMBIA"



SUB-GERENTE DESARROLLO

ANALIZADO

Por:

✓ Oscar Chaquea Blanco  
Jaime Lobo Guerrero  
John D. Burton  
Constantino Casasbuenas M.

Bogotá, octubre de 1979



## I N D I C E

	<u>PAGINAS</u>
INTRODUCCION	1
1. RESEÑA HISTORICA	7
Anexo No. 1	
2. DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA EN EL MEDIO RURAL.	13
2.1 Demanda de una vivienda	13
2.2 Agroindustria: su demanda	18
2.3 Demanda de energía eléctrica para pequeñas poblaciones rurales.	19
Anexo No. 2	
3. SOLUCIONES EXISTENTES	27
3.1 Soluciones para la vivienda rural.	28
3.1.1 Tipos de obras hidráulicas según la topografía.	29
3.1.1.1 Obra de toma	30
3.1.1.2 Rejillas y desarenadores.	31
3.1.1.3 Tuberías y canales.	31
3.1.1.4 Casa de Máquinas.	32
3.1.1.5 Turbina	33

	<u>PAGINAS</u>	
3.1.1.6	Generadores	33
3.1.1.7	Distribución Eléctrica.	33
3.1.2	Alternativas de Generación.	34
3.1.2.1	Sistemas para Generación D.C.	35
3.1.2.2	Sistemas para Generación A.C.	36
3.1.3	Oferta de equipos en el mercado.	37
3.1.3.1	Equipos de fabricación nacional.	38
3.1.3.2	Equipos de fabricación extranjera.	38
3.2	Soluciones para la agroindustria	38
3.2.1	Empleo de la energía mecánica sin convertir a eléctrica.	40
3.2.2	Localización de la turbina.	40
3.2.3	Empleo de mano de obra local.	40
3.2.4	Motores hidráulicos.	42
3.2.4.1	Ruedas lentas.	42
3.2.4.2	Turbinas modernas.	43
3.3	Soluciones para pequeñas poblaciones	44
3.3.1	Criterios de diseño.	45
3.3.1.1	Simplicidad vs. sofisticación.	46
3.3.1.2	Selección de materiales y su transporte.	46
3.3.1.3	Participación de la comunidad.	48

PAGINAS

3.3.1.4	Normas de las electrificadoras.	49
3.3.1.5	Equipos	50
3.3.2	Ejecución de los proyectos.	50
3.3.2.1	Ingeniería.	51
3.3.2.2	Transporte.	52
3.3.2.3	Mano de obra.	52
3.3.2.4	Operación y Mantenimiento.	53
	Anexo No. 3	
4.	ESTUDIO DE COSTOS	54
4.1	Para tener una idea del costo de una microcentral.	55
4.1.1	Costo aproximado de la unidad generadora.	58
4.1.1.1	Ejemplo 1: Minicentral para pequeña población.	59
4.1.1.2	Ejemplo 2: Microcentrales para generación D.C.	59
4.1.2	Listas de precios	60
4.1.2.1	Generadores eléctricos.	61
4.1.2.2	Transformadores.	61
4.1.2.3	Turbinas	61

PAGINAS

4.1.2.4	Línea de transmisión.	62
4.2	Evaluación Económica.	62
4.2.1	Criterios Generales.	62
4.3	Beneficio anual.	65
4.3.1	Evaluación del beneficio anual.	65
4.3.2	Energía obtenida.	65
4.3.3	Beneficios.	66
4.4	Evaluación económica.	66
4.4.1	Ejemplo 1: Minicentral de 12KW en Araracuara, Amazonas.	67
4.4.2	Ejemplo 2: Microcentral de 0.4 KW en Valle, Chocó.	68
4.5	Cuellos de botella.	70
4.5.1	Factor humano.	70
4.5.1.1	Ingenieros y Técnicos.	70
4.5.1.2	Participación de la comunidad.	71
4.5.2	Factores que afectan significativamente el costo de las mini y microcentrales.	72
4.5.2.1	Sedimentadores.	72
4.5.2.2	Tuberías.	73

4.5.2.3	Generadores, Dinamos y Alternadores	73
4.5.3	Fuentes de financiación	74
	Anexo No. 4	
5.	MINI-CENTRAL HIDROELECTRICA DE PANGUI: PROYECTO PILOTO	76
5.1	Origen de la idea	77
5.2	Breve descripción del grupo humano de Panguí.	80
5.3	Características técnicas del proyecto.	81
5.3.1	Obra de toma	81
5.3.2	Tubería de carga.	82
5.3.3	Casa de Máquinas	82
5.3.4	Equipos Eléctricos.	82
5.3.5	Equipos mecánicos.	83
5.3.6	Diseño de la obra y planos.	83
5.3.7	Dirección y Supervisión del montaje y construcción.	83
5.3.8	Mano de obra, transporte y postes.	83
5.3.9	Imprevistos.	83
5.4	Justificación de la obra y financiación	

Anexo No. 5

6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

86

# VIABILIDAD DE LAS MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS EN COLOMBIA

## INTRODUCCION

Este breve estudio contempla la problemática de atender por medio de pequeños desarrollos hidroeléctricos locales la demanda de energía en regiones desconectadas de los centros desarrollados de Colombia.

El tema ha cobrado gran interés primordialmente por la concientización acerca de la disponibilidad de recursos energéticos a nivel mundial. También, por el hecho de ser estos limitados y estar sintiéndose los efectos de la escasez de combustibles que han servido de base para el desarrollo de gran parte de la economía colombiana.

Es reconocido que uno de los factores más importantes, relacionados con el nivel de vida de una población y su capacidad de trabajo productivo, es el grado de utilización de fuentes inanimadas de energía para realizar trabajos industriales. Entendiéndose por fuentes inanimadas el aprovechamiento de recursos energéticos diferentes a la fuerza animal y humana siendo estas de dos tipos: las conservativas y perdurables como el viento, las mareas, el agua y el sol y las no conservativas

como los combustibles que a su vez pueden ser renovables y no renovables; en el primer caso se encuentran la madera y los desechos orgánicos y en el segundo el petróleo y el carbón.

Es importante anotar, que la utilización de las fuentes no conservativas es muy ineficiente si se desea convertir la energía a una forma útil como la mecánica o la eléctrica; la eficiencia de conversión es del orden del 25%. Por el contrario, la conversión de energía a partir del sistema hidráulico es del orden del 75% o más, por ser del tipo conservativo y no térmico.

En Colombia, la estructura económica se basa primordialmente en la industria del sector agropecuario, cuya productividad cubre más del 40% del Producto Interno Bruto. La población directamente vinculada al sector agropecuario es del orden del 30% del total, y el resto deriva su sustento de las labores correspondientes al comercio, los servicios y el Sector Manufacturero; sectores que en parte dependen todos de la producción agropecuaria. (1).

Es interesante observar que la población correspondiente a los últimos sectores es la que consume la mayor parte de la energía proveniente de fuentes inanimadas

del país.

En términos de un balance energético, el 60% de la energía efectiva consumida por los colombianos se basa en recursos no conservativos y no renovables como el petróleo (2). Sin embargo, se prevee que dentro de unos 15 años esta situación no podrá persistir a causa del agotamiento de este recurso a nivel mundial (3). Las implicaciones que conlleva la predicción anterior obligarán al sector agropecuario a substituir el recurso utilizado hoy en día por otros que se pueden prever y estimar por los siguientes desarrollos:

- a) Utilización más racional de los recursos locales de tipo conservativo, como la energía hidráulica, eólica, y solar, donde se justifique económicamente su explotación.
- b) Utilización de recursos locales de tipo no conservativo, como los desechos de cosechas y el cultivo de productos agrícolas energéticos, llamados bioenergéticos.
- c) Utilización de fuentes de energía no locales como otros combustibles (posiblemente carbón en el caso colombiano) y energía eléctrica, de ser económicamente factible la interconexión a la red de grandes centrales hidroeléctricas.

- d) Intensificación de la utilización de animales como fuente energética para labores especiales.

Es difícil establecer el potencial del recurso hidráulico para explotar en Colombia al nivel que se propone en el desarrollo (a). Se puede decir con base en las características topográficas e hidrográficas que el potencial es muy grande y que seguramente se podrá atender una gran porción de la demanda energética por medio del desarrollo local de plantas hidráulicas.

Por otra parte, con base en estudios relacionados con la electrificación rural en Colombia (2), se estima que únicamente el 16% de la población rural tenía servicio de energía eléctrica en 1977. Se calcula en 1.6 millones el número de viviendas que serían usuarios potenciales para la energía. La mayoría de estas viviendas están localizadas en la región andina del país, donde hay recursos hidráulicos locales.

El presente estudio señala los detalles de la demanda de energía para este sector, las posibles soluciones para atender esta demanda a la luz del desarrollo tecnológico actual y un análisis de los costos y dificultades para realizar el desarrollo de pequeñas plantas hidráulicas o minicentrales (ver numeral 3).

También se dedica parte del trabajo a la consideración de sistemas que, aprovechando la energía hidráulica, pueden ayudar al fortalecimiento de la agroindustria en el sector rural. Además de promover la descentralización y crear fuentes de trabajo, se ponen al alcance de los grupos más pobres de nuestra sociedad los desarrollos tecnológicos logrados en sus centros más avanzados.

Hacia el final del trabajo se presenta un proyecto que puede servir de modelo de desarrollo de las minicentrales que se contemplan. Los autores consideran que tanto en este caso presentado, como en el de muchas poblaciones colombianas no se requiere de los tantos análisis y estudios que normalmente se justifican para proyectos de hidroeléctricas grandes. Se trata de cumplir con un orden de prioridades.

A lo largo de todo el estudio se intenta mostrar que sí hay en Colombia una tecnología que realmente puede ayudar a resolver problemas concretos de sus poblaciones. Que aunque esta tecnología no es equivalente a la super-tecnología de los países desarrollados, mediante el empleo del capital humano y de nuestros recursos se puede llegar a soluciones útiles en las regiones apartadas del país.

Los autores agradecen a la Fundación Mariano Ospina Pérez el haber fomentado la realización de este trabajo, y esperan que su contenido pueda prestar un servicio eficaz en la solución del problema energético que afrontan cerca de nueve millones de colombianos.

## 1. RESEÑA HISTORICA

Sorprende que un país con recursos hidráulicos tan formidables como los que posee Colombia no se haya desarrollado en este sentido. Desde la colonia se hizo uso de norias y ruedas hidráulicas lentas para aplicaciones mineras y molinos; alrededor de 1850, en Europa y Norteamérica, se comenzaron a fabricar máquinas que hoy en día se llaman turbinas modernas.

En Colombia se considera como fecha de iniciación de la explotación hidroeléctrica el año de 1896, cuando comenzaron a operar las plantas de Bucaramanga y Cúcuta; sin embargo, es de esperar que antes de esta fecha ya había pequeños desarrollos a nivel privado, construidos por ingenieros colombianos, utilizando máquinas importadas. Ya por esa época existían compañías privadas como la Pelton Water Wheel Co. de San Francisco y Nueva York, y James Leffel & Co. de Springfield, establecidas desde 1860, que instalaban unidades desde 1/2 a 20.000 caballos de potencia. Estas empresas y otras europeas comenzaron a operar en el país en forma privada, atendiendo necesidades locales y promoviendo la creación de empresas privadas de energía eléctrica de alcance local.

Es natural que se atendieran primero las ciudades del país, pero es importante mencionar que también se estaban atendiendo sectores rurales a través de las pequeñas agroindustrias. En el anexo No.1 se presenta una copia del editorial de Anales de Ingeniería (4) donde se aprecia claramente el conocimiento del potencial y beneficio que representaba la explotación del recurso hidráulico en la época.

A partir de los primeros años del presente siglo, fueron desarrolladas innumerables plantas hidráulicas orientadas más que todo a realizar trabajos fabriles. Por ejemplo, se pueden citar aserríos por todo el país, trapiches e ingenios en el Valle del Cauca, molinos en Cundinamarca y Boyacá, industrias cerámicas y mineras en Antioquia, fábricas de hielo e innumerables beneficiaderos de café que utilizaban turbinas hidráulicas como fuente motriz. Ha sido tan importante este recurso, que desde la primera edición del Manual del Cafetero, publicado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, se le dedica un capítulo completo para su desarrollo.

Fue tal el desarrollo hidráulico, que en el país se desarrolló una infraestructura que suministró tecnología a nivel enteramente nacional. Se comenzaron a fa-

bricar y reparar turbinas y tubería de hierro en talleres pequeños de Medellín, Bucaramanga y Bogotá. Muchas de las turbinas salieron de los hornos de la siderúrgica Coradine, en Pacho, Cundinamarca. Surgieron empresas de Ingenieros Contratistas que realizaron los primeros estudios, diseños y construcción de minicentrales, importando los equipos cuando no era posible usar los equipos nacionales. Fue tan difundida la utilización del recurso hidráulico en el interior del país que son muy pocos los campesinos que no reconocen la vieja "Pelton".

El servicio de energía eléctrica para el sector urbano fue atendido por empresas privadas hasta la década de 1920, época en que comenzó a intervenir el gobierno a través de los municipios, fomentando empresas mixtas, con capital privado y municipal.

Para 1930 había 216 plantas hidroeléctricas pequeñas a filo de agua, para cubrimiento local, correspondientes a las que hoy en día se consideran comprendidas dentro del término mini-centrales (2). Estas minicentrales tenían una capacidad instalada total de 45 MW, y fueron paulatinamente sacadas de servicio por falta de capacidad técnica de las entidades municipales para atender el mantenimiento y operación eficiente de los equipos.

Gran parte de las minicentrales fueron operadas hasta llegar a un deterioro insalvable.

Alrededor de 1930 se adoptó la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, y en 1968 se comenzó la interconexión de estas. En vista de las pérdidas económicas de los proyectos a nivel de minicentrales, el gobierno no fomentó su desarrollo hasta hoy en día, cuando se intenta su uso para atender regiones apartadas donde no se justifica económicamente la interconexión, ni el empleo de plantas Diesel.

El lector se preguntará porqué se acabaron todos o gran parte de los desarrollos hidráulicos a nivel minicentrales para el sector rural si parece que a comienzos de siglo se formó la infraestructura para que continuara desarrollándose? los autores de este trabajo consideran que este hecho obedece a varios factores:

- 1.1 Hace 35 años el transporte y las comunicaciones en el país eran prácticamente inexistentes y la mayoría del sector rural operaba con base en los caminos de herradura.
- 1.2 Los criterios de evaluación para tomar decisiones respecto a la energía por parte de los empresarios agrícolas y los campesinos en general son intuitivos y obe

decen significativamente a influencias de culturas foráneas que garantizan rendimientos a corto plazo y no a largo plazo.

- 1.3 El motor de combustión interna como fuente motriz se empezó a comercializar en Colombia alrededor de los años 30.

El factor 1.1 fue uno de los más importantes en contribuir al deterioro del desarrollo hidráulico del país a nivel de minicentrales si se combina con el factor 1.3. Con las comunicaciones vino el motor de combustión interna y la posibilidad de transportar económicamente un combustible muy barato y de alto contenido energético.

Fue así como innumerables empresas agrícolas adoptaron el motor Diesel o de gasolina para atender sus necesidades energéticas. Los combustibles fueron despilfarrados por su bajo costo al ser considerados por el país y el gobierno como un bien de consumo ilimitado y no como bien de capital, que es limitado. Este error distorsionó totalmente el valor real de los combustibles y el usuario potencial que demandaba energía se enfrentaba a tomar una decisión entre desarrollar un recurso local o traer el recurso energético.

Desarrollar un recurso hidráulico implica esfuerzo propio, el desarrollo es lento hasta obtener el servicio, requiere de una inversión inicial mayor, y finalmente, exige atención continuada para mantener en buen estado operativo los equipos y las obras civiles. En cambio, un motor de combustión interna no implica esfuerzo propio alguno, su obtención e instalación es muy rápida, requiere una inversión inicial baja y finalmente, si se daña, se puede adquirir otro fácilmente; no es necesario atenderlo mucho. Su combustible es muy barato. Esta forma de pensar es la que perduró hasta 1976, año en que los combustibles empezaron a escasear a nivel mundial.

Por último, es muy importante anotar que dada la estructura social del país desde comienzos de siglo hasta hoy, el nivel de vida económico del 95% de la población rural y de regiones apartadas no le ha permitido considerar siquiera el desarrollo energético de recursos locales por causa de sus bajos ingresos. O sea que el uso de energía basada en las minicentrales hidráulicas o con motores de combustión nunca pasó de atender al 5% rico de la población rural.

ANEXO 1  
HOJA 1/2

circuito de 12 focos incandescentes de 16 bujías cada uno, que alumbran la planta de *San Jorge*.

Toda la energía que se produce no se aprovecha, de manera que piensan llevar el excedente para alumbrar el establecimiento de cañas de la misma plantación, llamado *El Porvenir*, distante dos kilómetros, y también para la plantación de *La Trinidad*, de los Sres. Gómez & C.<sup>a</sup>, distante medio kilómetro.

Tál es, en síntesis, el nuevo beneficio cañero de *Misiones*, el cual pone en relieve el alto espíritu progresista de D. Nicolás Sáenz, quien no ha ahorrado capital ni esfuerzos, hasta de su propia sangre, para llevar á cabo tan bella empresa, y junto con él, va el nombre de nuestro estimado colega y consocio, Dr. Rafael Alvarez Salas, ingeniero encargado de todos los trabajos, á quien, como siempre, el buen resultado obtenido es la más elocuente justicia á su habilidad y estudios; para ambos van nuestras sinceras felicitaciones.

BENJAMÍN DUSSÁN CANALS

*Misiones*, Mayo 1.º de 1906

---

### "EL NUEVO TIEMPO"

A este acreditado diario bogotano le agradecen mucho los *Anales*, la benevolenta felicitación que se sirvió hacerle en su número 1,291, de este mes.

Conceptos de esta clase, y tan imparciales como espontáneos, sobre la sostenida y patriótica labor del órgano de la *Sociedad Colombiana de Ingenieros*, estimula la perseverancia y los esfuerzos en bien del país y del gremio.

Hoy precisamente cumple la Institución diecinueve años de fundada, durante los cuales le ha tocado luchar en épocas difíciles, y aun cuando en la actualidad se halla contristada por la reciente desaparición de dos distinguidísimos miembros, su horizonte y su campo de acción se van determinando mejor cada día.—D. S.

Mayo 29 de 1906

---

### Trabajos de los socios

---

#### INDUSTRIA DEL BARNIZ EN PASTO

Una de las cosas más originales, entre muchas, que hay en esta localidad, es la INDUSTRIA DEL BARNIZ, esto es: la producción de los objetos llamados PASTOSOS. Yo me imaginaba que estos objetos eran producidos por un barnizado fino, no tenía idea que fuese un verdadero lacado muy análogo al lacado chino. En verdad, los objetos de barniz son lacas obtenidas por procedimientos idénticos á las producidas en China.

desnudo del que se palpa, en el traspasar de la vida y el que se ha encastrado en las que con patata dejaban un nombre pesadamente escrito de muchas.

Ha nacido en el país en gloria y del progreso y como del soldado de la batalla a la tumba el Dr. Rumbos, dando enseñanzas saludables a todos los que viven en silencio para trabajar. El dedo de café y de gloria se le recuerda con afecto y gratitud, y eso constituye su mejor elogio. Más tarde la historia le dedicará lucidas páginas.

Entretanto reciba la *Sociedad Colombiana de Ingenieros* el pésame más sentido por la irreparable pérdida que acaba de hacer.

Abril 20 de 1906

ZOILLO FORERO

## Sección Editorial

### Beneficio cafetero y planta eléctrica de "Misiones."

Una de las pocas industrias agrícolas colombianas, es la del cultivo del café, cuyo beneficio demanda instalaciones de valiosas maquinarias, debido principalmente a lo difícil y caro de nuestros transportes.

Conociendo la mayor parte de las mejores instalaciones cafeteras de Cundinamarca, y entre todas ellas sobresale la de *Misiones*, propiedad de nuestro conserje Nicolás Sáenz, la cual consideramos modelo en todo sentido, y por lo tanto creemos muy interesante hacer una ligera reseña de ella como obra de ingeniería.

Debido a lo extensa de la plantación, hay dos beneficios en ella, el de *La Lina* y el de *Misiones*, distantes el uno del otro, tres kilómetros. El primero es un beneficio húmedo, es decir, únicamente se se despalpa y lava el café. El edificio es una construcción de dos pisos, sobre pilares de fábrica de ladrillo y con techo metálico; las dimensiones de sus plantas son: 9<sup>m</sup>.20 x 1<sup>m</sup>.80. La maquinaria la componen una batería de dos despulpadoras de cuatro chorros y un lavador vertical, que moverá un motor de 10 caballos de fuerza de 5 caballos de fuerza. El segundo es un beneficio húmedo y seco, es decir, se prepara el grano desde que se coge de la planta hasta que se empaca, según las diferentes clases, en sacos para exportar. Este edificio es una construcción semejante a la anterior, pero con un tercer piso abovedado; sus plantas tienen las dimensiones de 17<sup>m</sup>.00 x 10<sup>m</sup>.00 y la altura de sus pisos 3<sup>m</sup>.50, 3<sup>m</sup>.00 y 2<sup>m</sup>.00, respectivamente. La maquinaria la componen: una batería de dos despulpadoras brasil y una de cuatro chorros; un lavador vertical; un conductor horizontal de café (*coneyo*); tres elevadores; una secadora *Guardiola* con su hornos y amacora; una trilladora; un pulidor; un clasificador de granos; además, en un edificio pequeño como el que se encuentran los colonos *Barriga*, que reciben una corriente

de los alambres situados en el edificio principal. En la planta principal al centro del costado oriental, se encuentra el cuarto de máquinas eléctricas de inducción, de 10, 10 y 15 caballos de fuerza, respectivamente, que giran en movimiento en un eje principal de la misión, el cual corre por todo el centro y a lo largo de ella, apoyado en columnas de madera; este eje lleva tres acopladuras, de manera que se mueve todo al tiempo ó una, dos ó tres secciones independientemente; de este eje van las transmisiones a las máquinas y a otros ejes secundarios para aumentar la velocidad.

La disposición de las máquinas es tal que el café sigue, por todas ellas, un derrotero continuo, desde que entra a las despulpadoras hasta que sale empacado, evitándose así el empleo de brazos en su manejo, con lo cual se hace una gran economía de tiempo y de dinero, pues el grano está listo para la exportación 50 horas después de cogido.

Todas las máquinas son de las mayores capacidades conocidas aquí, y entre todas ellas llama la atención la secadora *Guardiola* por sus dimensiones; vacía pesa 8 toneladas; despacha 5,000 kilos de café por operación.

Hayos dicho que en ambos beneficios se emplea la energía eléctrica como fuerza motriz, la cual se produce en la planta de *Sau Jorge*, situada a un kilómetro de distancia. Esta es un edificio bajo, de fábrica de adobe y de techo metálico, de 10<sup>m</sup>.00 de ancho por 12<sup>m</sup>.00 de largo y 4<sup>m</sup>.00 de alto; está dividida en un salón para las máquinas y dos habitaciones pequeñas para un empleado. Eleva este nombre en memoria del hijo mayor de nuestro conserje, joven muy estimado por todos, quien murió poco tiempo después de llegar de los Estados Unidos.

Las aguas de la quebrada de *Cambos*, llevadas por acequia, en una longitud de dos kilómetros y por tubería de acero de 7" de diámetro, en una extensión de 615 metros, mueven un motor *Pelton* de 24" de diámetro, que tiene una pala motriz de cada lado. La cantidad mínima de agua es de 60 litros por segundo, los cuales, en una caída vertical de 137.00 metros, desarrollan una fuerza efectiva de 95 caballos de vapor.

Las poleas del motor *Pelton*, mueven por medio de cajas de cuero dos generadores de corriente trifásica. La energía de cada dinamo es de 30 kilowattios y la corriente producida tiene una presión de 2,300 voltios. En el mismo salón de los generadores se encuentran los tres tableros de distribución (*switch-board*), de donde arrancan los tres alambres que conducen los 90 kilowattios de energía a una casita de madera situada al lado del edificio de *Misiones*, en la cual hay una batería de quince transformadores, los cuales disminuyen el voltaje de la corriente para las siguientes aplicaciones: para mover los cuatro motores de inducción de los beneficios de café; para alimentar dos circuitos de 45 focos incandescentes de 110 voltios, que iluminan la casa de habitación y el edificio principal; para alimentar un circuito de 5 focos de arco encerrado (*teclado al aire*), y un

## 2. DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA EN EL MEDIO RÚRAL

### 2.1 Demanda de una vivienda

Hace unos 30 ó 40 años, planticas eléctricas movidas por agua o viento eran comunes en los sectores rurales de muchas partes del mundo. A pesar de la existencia de estas, en Colombia su utilización fue desfavorecida con el advenimiento de plantas Diesel y de gasolina por el bajo costo del combustible. En esa época la demanda de energía para lograr servicios útiles era considerable, se requerían del orden de dos kilovatios en capacidad instalada por vivienda para atender unos pocos servicios que incluían iluminación y radio.

Existen tres factores tecnológicos que han cambiado significativamente la demanda de energía en una vivienda si se toma en cuenta que no es racional utilizar la energía eléctrica para cocinar o calentar agua. Estos tres factores son (5):

- 2.1.1 Aumento de la eficiencia de conversión de potencia mecánica a eléctrica y su transmisión.
- 2.1.2 Aumento de la eficiencia de utilización de la potencia eléctrica para prestar servicios como iluminación, equipos electrodomésticos, mecánicos y electrónicos.

2.1.3

La factibilidad de almacenar cantidades pequeñas de energía en baterías comerciales con relativa economía.

El primer factor se refiere a innovaciones tecnológicas aplicadas a nuevos materiales magnéticos y aislantes para cables que permitieron aumentar las eficiencias de generadores pequeños, además de su durabilidad. Se ha logrado eliminar el conmutador con rectificadores de estado sólido y se ha logrado una eficiencia del orden del 80%, valor que duplica la cifra de hace cuarenta años.

El segundo factor se refiere a innovaciones introducidas por los adelantos en la física del estado sólido. En el cuadro 2.1 se presentan los cambios que han sufrido los equipos más convencionales desde el punto de vista de consumo eléctrico. Algunos equipos tardarán en ser comercializados en el país, y se continuará el uso ineficiente de energía eléctrica por algunos años.

Antes de abordar el factor baterías, es importante estudiar la demanda de potencia durante el día en una vivienda típica, correspondiente a regiones apartadas, pero con un nivel de vida adecuado y moderno.

En el cuadro 2.2 del Apéndice No. 2 se presenta una lista de servicios con equipos modernos que se prevee podrían ser demandados por una vivienda con 5 habitantes y un buen nivel de vida. La lista del cuadro 2.2. sorprende por la cantidad de servicios prestados por tan poca energía, un total de 1.75 kilovatios-hora por día. La energía supuesta para iluminación se basa en el empleo de bombillos o fuentes luminosas eficientes, las cuales solo estarán plenamente comercializadas en los próximos años.

El factor que más contribuye a lograr este resultado es el uso racional y eficiente de la energía, que implica para el usuario lo siguiente:

- Poseer un conocimiento de las limitaciones que impone un equipo de potencia pequeña y en consecuencia, obrar de tal forma que no se sobrecargue el equipo utilizando todos los servicios simultáneamente. Estudiando la tabla 2.2 bajo este criterio se deduce que la carga máxima ineludible durante las horas diurnas sería la de usar la plancha, el ventilador, entretenimiento, y que simultáneamente operara la nevera accionada por su interruptor automático. Para este caso la potencia pico demandada sería de 530 vatios; durante la noche la demanda sería menor.

Es difícil predecir si en fechas posteriores esta demanda disminuya, debido a la comercialización de equipos eficientes para las plantas ya desarrolladas, pero sí es de esperar que los nuevos desarrollos hidráulicos se adelanten con base en demandas menores por la disminución significativa de sus costos de inversión, como se indicará en el numeral 4. Se estima por lo tanto, que en 1990 la demanda típica para una vivienda rural sea la siguiente:

Demanda pico de potencia	:	600 vatios
Demanda con baterías	:	100 vatios
Demanda diaria de energía	:	1.8 kw-hr.

## 2.2 Agroindustria: su demanda.

La demanda de energía que exige la agroindustria es de dos tipos: energía en forma mecánica y energía en forma de calor.

En el cuadro 2.3 se listan algunos de los procesos típicos que demandan energía mecánica y energía calorífica. Respecto a la magnitud de la potencia demandada, comparativamente los procesos que utilizan el calor requieren muchísima más potencia que los procesos que utilizan energía mecánica. Es de esperar por lo tanto,

que un desarrollo hidráulico esté orientado a atender la demanda de energía mecánica, y se debe utilizar otra fuente de energía para suplir las necesidades de los procesos calóricos.

No se puede estimar la demanda de energía en forma absoluta para la agroindustria, debido a que esta depende directamente del proceso que se desea llevar a cabo, y de la capacidad de la industria. Sin embargo, se puede hablar de un rango que es del orden de 5 a 100 kilovatios para la demanda típica de cualquier industria localizada en el sector rural.

### 2.3 Demanda de energía eléctrica para pequeñas poblaciones rurales.

En términos nacionales, el 40% de la población colombiana vive en el campo o en poblaciones de 5.000 habitantes o menos. De esta población rural, el ICEL (2) estima que solo el 16% recibe energía eléctrica y en forma intermitente; el servicio es como máximo de 5 horas al día, empleando plantas Diesel. En la tabla 2.4. se presentan los requisitos normales de energía para una población típica de 500 habitantes, según estudios de las Naciones Unidas (6). Los resultados arrojan 270 KW-hr. por día de energía y 50 KW. de demanda pico.

de potencia. En términos unitarios, la demanda se estima en la siguiente forma:

Demanda de potencia pico por habitante:	100 vatios
Demanda de potencia pico por vivienda :	500vatios
Demanda de energía por habitante-día :	540 vatios-hr.
Demanda de energía por vivienda-día :	2.7 kW-hr

Es importante anotar que esta información obtenida de Naciones Unidas supone un nivel de vida bajo en la población. Si el nivel de vida sube, las demandas típicas se acercan a las anotadas en la Sección 2.1.

Con el fin de estimar el crecimiento de la demanda en el tiempo, se pueden adoptar tasas de crecimiento poblacional mínimas de 1.5% anual a 3% anual máximas.

CUADRO 2.1

CAMBIOS EN EL CONSUMO DE POTENCIA POR ALGUNOS ELECTRO-  
DOMESTICOS DURANTE EL PERIODO 1945 - 1979

Equipo Electrodoméstico	Potencia consumida para el mismo servicio (vatios)	
	año 1945	año 1979
Bombillo de filamento	100	17
Lámpara fluorescente (equivalente a bom- billo de 100 vatios)	50	20
Radio	100	5
Radiola	150	10
Televisión (18")	200	14
Nevera (11 pies cúbicos)	300	180

\* Fue desarrollado en 1978 un bombillo con recubrimiento especial 6 veces más eficiente ya que aprovecha parte de la energía no lumínica para la incandescencia del filamento; el recubrimiento permite el paso de la luz y no del calor. El nuevo bombillo desarrollado en M.I.T. U.S.A. será comercializado prontamente a un costo mayor que el antiguo pero será más durable que el que se utiliza hoy en día cuya eficiencia es del orden del 6%.

+ Si se desea una iluminación equivalente a un bombillo de 100 W. se puede utilizar una lámpara fluorescente con balasto al doble de la eficiencia (i.e. 50 W) ó una fuente transistorizada de alto voltaje con cinco veces la eficiencia o sea 20 W. Este equipo es ensamblado en Colombia por Tecnelec, Apartado Aéreo 10396 Cali.

CUADRO 2.2

SERVICIOS DEMANDADOS POR UNA FAMILIA CON BUEN NIVEL DE VIDA Y EQUIPOS MODERNOS EN UNA REGION APARTADA.  
(PERIODO 24 HORAS)

TIPO DE SERVICIO ELECTRICO	DURACION HORAS	POTENCIA CONSUMIDA (Vatios)	ENERGIA CONSUMIDA (Vatios-hr)
Iluminación (cuarto de Estar).	5	20	100
Iluminación otras habitaciones.	5	20	100
Entretenimiento (radio, radiola, tel.)	6	15	90
Radio teléfono	1/2	30	15
Aspiradora	1/2	200	100
Batidora ó licuadora	1/4	100	25
Ventilador.	8	35	280
Máquina de coser.	1 1/2	100	150
pequeña plancha.	3/4	300	225
Nevera ó pies cúbicos	3 1/2	180*	630
Energía total consumida por día =			<u>1.715 W-hr.</u>

\* La cifra corresponde al consumo de potencia al operar el compresor. Al arrancar el motor la demanda transiente es el doble pero en el caso de tener baterías no se presentaría problema en atender la sobrecarga durante un breve periodo de tiempo.

TABLA 2.3

<u>Tipo de Agroindustria</u>	<u>Rango de potencia demandada (KW)</u>
Aserrió.	30 a 60
Carpintería.	3 a 15
Trapiche.	10 a 20
Molinos de granos.	3 a 20
Telares.	1/2a 6
Beneficiaderos de café.	5 a 30
Molinos de canteras.	6 a 30
Fábrica de hielo.	6 a 60
Matadero o molino de pescado.	5 a 10
Cuarto frío.	6 a 60
Chircal.	2 a 12
Bombeo.	2 a 100

CUADRO 2.4

DEMANDA DE ENERGIA EN UN PUEBLO DE 500 HABITANTES.

(Versión extractada de ref. 6), Naciones Unidas.

Actividad	Potencia pico deman- dada KW.	Energía Demandada Kw-hr.
I. Combustible para cocinar (1.7 Kw-hr. por persona/día)	290	850
II. Energía Eléctrica.		
a) Bombeo de agua potable: 20 litros/habitante/día, 30 m. y = .5	.8	1.65
40 litros/animal-día-150 m. y = .5	.8	8.15
b) Bombeo de agua para irriga- ción 20 hect., 50 m <sup>3</sup> /hect. año, 25 m. =.5*	30	136.70
c) Iluminación 100 viviendas con 3 lámparas fluorescentes de 15 W operando 5,3 y 2 hrs. respectivamente.	4.5	15.
d) Iluminación pública, 20 lám- paras fluorescentes de 25 W. durante 10 hrs. por noche.	.5	5.
e) Industria de la población +	15.	90.
f) Establecimientos comerciales y centros de la comunidad.	4.7	14.
Total de Energía Demandada por día.		1.120.5 Kw-H
Total de energía Eléctrica Demandada por día		270.7Kw-hr

\* La irrigación de 20 hectáreas durante el año daría dos cosechas al año. El efecto es el de aumentar los

ingresos de los habitantes.

+ Industrias típicas serían: molinos, beneficiadores, plantas de refrigeración, extracción de aceite, telares, hilanderías, costura e industrias cerámicas y carpinterías.

### 3. SOLUCIONES EXISTENTES

Se considerarán las soluciones que se encuentran disponibles para suplir las demandas de energía eléctrica por parte de la vivienda, la agroindustria y las pequeñas poblaciones de nuestro medio rural.

Antes de entrar en detalle, se recalcará que para la implantación de cualquiera de estas soluciones en lo concerniente a potencias inferiores a 2 kilovatios se hacen necesario tanto el estudio de las características del lugar en el cual se quiere realizar la instalación, como la asesoría técnica para el montaje. Más adelante, en la sección denominada "Cuellos de Botella" se considerará este aspecto en mayor detalle. Cuando se trata de instalaciones de más de 2 kilovatios, se hace necesaria la asesoría a nivel de ingeniería.

Para las soluciones propuestas se han considerado tanto equipos de fabricación nacional como extranjera. Estos últimos pueden adquirirse ya sea mediante importación directa o por medio de representantes. En el capítulo 4 se comparan los costos de las diferentes soluciones propuestas.

Con el objeto de evitar confusiones en cuanto al término

"micro-centrales", y la potencia que pueden suministrar, las soluciones propuestas se clasifican dentro de tres grupos:

- Microcentrales para vivienda rural (200 vatios a 2000 vatios)
- Minicentrales para agroindustria (2000 vatios en adelante)
- Minicentrales para pequeñas poblaciones (2000 vatios en adelante)

#### Soluciones para la vivienda rural

Teniendo en cuenta que en el medio rural colombiano la vivienda se encuentra construida cerca de las fuentes de agua, el aprovechamiento de los caudales y caídas para generación de energía eléctrica se justifica siempre que se puedan generar más de 200 vatios eléctricos (demanda familiar).

Para poder determinar las limitaciones en cuanto a caída y caudal de la fuente que se desee aprovechar, es importante considerar que la potencia utilizable es directamente proporcional a la altura desde la cual baja el agua a la turbina y a la masa ("peso") de agua que pasa por la turbina por segundo. Así, un kilogramo de agua por segundo, que caiga desde un metro de altura puede dar una po-

tencia de 4 vatios; esto, si se tienen en cuenta las "degradaciones" (ineficiencias) que sufre la energía en los equipos eléctricos y mecánicos necesarios para su aprovechamiento. La fórmula a utilizar para el cálculo de la potencia hidráulica disponible es

$$P_h(\text{kw}) = \rho gQH,$$

donde  $\rho g$  es el peso específico del agua en  $\text{Newton/m}^3$ ,  $Q$  es el caudal en litros por segundo y  $H$  son los metros de caída.

En aquellos casos que se denominan como de topografía "llana" las caídas que se consideran como aprovechables son entre 1 y 4 metros con caudales que van desde 15 hasta 60 litros por segundo.

En los lugares de topografía "quebrada" se consideran sitios con caídas entre 5 y 11 metros y caudales mínimos entre 7 y 12 litros por segundo.

### 3.1.1. Tipos de Obras Hidráulicas según la topografía

Se describen en seguida los elementos que componen una microcentral hidroeléctrica. Tanto para las soluciones de vivienda como para las pequeñas poblaciones, los tipos de elementos descritos son los mismos, aunque evidentemente,

difieren en magnitud.

#### 3.1.1.1 Obra de toma

No se debe construir represa, a menos que sea inevitable. Si hay que construirla el costo de la instalación puede elevarse de modo considerable.

- Para instalaciones de topografía llana, conviene hacer obra de toma con una altura máxima de 50 centímetros en quebradas cuyo caudal sea inferior a 1 metro cúbico por segundo. Esto puede lograrse económicamente mediante gaviones. El tipo de instalación, así como la localización de sus partes (toma, tubería, rejillas, etc.) requiere de un buen conocimiento de la quebrada en las peores condiciones de flujo. Como las caídas requeridas son pequeñas, una gran parte de ella puede lograrse en el sitio de toma, logrando así reducir la longitud de canales y tubería necesarios para la conducción del agua a la turbina.
  
- En las instalaciones de topografía quebrada (caídas grandes y caudales reducidos) la obra de toma es normalmente de un tamaño menor que la requerida para la topografía "llana". Como se manejan cauda-

les de agua menores, es más fácil asegurar su limpieza, Como consecuencia del tamaño menor, la obra es más fácil de realizar, requiere menos tiempo y es más barata.

#### 3.1.1.2 Rejillas y desarenadores

Si el agua lleva sedimentos y hojas se hace necesaria la construcción de desarenadores y la instalación de rejillas. De no hacerlo se corre el peligro de "tapar" la turbina o de producir su erosión. Para caudales bajos el problema no es difícil de resolver. Sin embargo, la solución que se adopte depende de la cantidad y calidad del sedimento y, evidentemente, de la inversión que se desee realizar.

En fin, aunque son elementos indispensables, a menudo son ignorados y se llega así a una situación en que la instalación se deteriora rápidamente.

#### 3.1.1.3 Tuberías y canales

Con excepción de las instalaciones en las cuales la turbina se encuentra instalada al lado de la obra de toma (o la presa) siempre se hace necesario conducir el agua desde la obra de toma hasta la turbina mediante canales y/o tuberías. De acuerdo con las secciones de los canales y los diámetros de los tubos se perderá

una mayor o menor energía. Con el objeto de resumir estas características y de mostrar los tipos de tuberías y canales que se pueden adquirir actualmente en el país, se anexa el cuadro No. 3.1. La escogencia de un material específico para canales o tuberías en una misma instalación, o la combinación de ellos con el objeto de disminuir los costos depende de cada caso en particular. La naturaleza no está sujeta a "normalización". Es este uno de los aspectos en los cuales se requiere algún tipo de asistencia técnica.

#### 3.1.1.4 Casa de Máquinas

Para este tipo de solución puede consistir simplemente en una caseta de 2 m. x 2 m. con techo y paredes que protejan de modo adecuado los equipos que se instalen. En algunos casos ni la caseta misma es necesaria. En cuanto a la localización del conjunto Generador-Turbina (y Casa de Máquinas en caso de necesidad) es conveniente observar características tales como crecientes de la fuente de agua que se aprovecha, subidas de nivel en invierno, y demás factores que puedan afectar la estabilidad de este elemento.

### 3.1.1.5 Turbina

Para las instalaciones que se han denominado de topografía "llana" es necesario el empleo de turbinas axiales. Para instalaciones con topografía "quebrada" se recomienda el empleo de turbinas tipo Pelton. Las eficiencias de ambos tipos de turbina para esta clase de solución llega como máximo a ser del 60% para las primeras y del 70% para las Pelton.

En el anexo 3, hojas 2 y 3 se muestran diferentes ejemplos de turbinas que se han empleado para este tipo de solución. (Ver también anexo 5, hojas 1,3,6 y 7.)

### 3.1.1.6 Generadores.

En la sección 3.1.2 se indican las diferentes alternativas que se presentan dentro de esta solución para generación eléctrica. Para los rangos de aplicación que se han considerado, el generador puede acoplarse directamente a la turbina, eliminando de este modo la transmisión o caja de velocidades.

### 3.1.1.7 Distribución eléctrica.

Es muy limitada, debido a que la corriente eléctrica es generada a un voltaje muy bajo. Por lo tanto, si

se quiere atender directamente una casa, o un conjunto de ellas muy cercanas entre sí, estas deben de estar localizadas a una distancia corta del punto de generación. De no ser así, la instalación se hace costosa e ineficiente.

### 3.1.2 ALTERNATIVAS DE GENERACION

Dentro de esta solución para vivienda los sistemas de generación pueden ser divididos en dos tipos. Uno de ellos corresponde a sistemas de almacenamiento de energía eléctrica con baterías de 12 voltios, D.C., mediante la utilización de alternadores también de 12 voltios (algunos de fabricación nacional). El segundo tipo corresponde a sistemas generadores de potencia con salida A.C., a 110 voltios y 60 Hz (hasta ahora de fabricación extranjera).

La principal ventaja que ofrecen los sistemas D.C. sobre los A.C. es el poder aprovechar caudales pequeños de agua para generar potencias también pequeñas, pero que almacenadas en baterías permiten disponer de cerca de 10 veces la potencia generada durante tiempos cortos (hasta 2 horas diarias). Naturalmente las obras hidráulicas serán mucho más económicas.

### 3.1.2.1 Sistemas para Generación D.C.

En general se trata de equipos de fabricación nacional que emplean equipo eléctrico automotriz. Son equipos seguros y confiables. La turbina no requiere regulación y la potencia eléctrica generada puede ir desde pocos vatios hasta cerca de 1 kilovatio. Dentro de las desventajas que presenta es el no poder usar este tipo de solución para "agrupaciones" de viviendas.

Se hace económicamente impracticable, ya que las viviendas se encuentran relativamente alejadas unas de otras y el costo de la transmisión eléctrica a bajo voltaje hace demasiado costosa la solución. (Ver Anexo 5, hojas 1 a 4).

Mediante el empleo de motogeneradores disponibles en el país (ver tabla 3.2) puede tenerse energía eléctrica A.C., a 120 voltios. De esta forma, aunque se incurre en costos mayores (ver numeral 4) se tiene acceso a la utilización de equipos tales como: taladros, esmeriles, cortadoras de maleza, sierras, neveras, etc., cuyos voltajes exigen 120 voltios.

También puede lograrse la conversión de energía eléctrica D.C./A.C. mediante el uso de inversores electrónicos (algunos, para potencias muy bajas ya son fabricados en el país (7)). Se pueden adquirir con capaci-

dades que van desde 50 vatios hasta varios kilovatios. Un inversor de 7000 vatios puede tener cuatro salidas de 15 amperios cada una. Para inversores de 12 voltios las potencias de salida de equipos comerciales van desde 50 vatios hasta 2000 vatios. Para capacidades mayores es necesario disponer de 24 voltios D.C. (dos baterías de 12 voltios en serie).

#### 3.1.2.2 Sistemas para Generación A.C.

Pueden considerarse también dentro de las soluciones para vivienda rural aquellas instalaciones que contemplan el uso de generadores A.C. de bajas potencias (de 1/2 hasta 2 kilovatios). Como se mostrará en el numeral 4 esta es una solución bastante costosa en nuestro país, si se tiene en cuenta el elevado costo que presentan los generadores A.C. para pequeñas potencias. Sin embargo, en algunos casos, o solucionados los cuellos de botella que se anotarán adelante, es una alternativa que vale la pena considerar.

La generación A.C. es más recomendable cuando la potencia a generar sea del orden de 2000 vatios. Las ventajas de emplear plantas A.C. y 60 Hz son obvias: se pueden emplear aparatos eléctricos comunes y la potencia puede llevarse a distancias relativamente grandes sin pérdidas mayores.

Para ambas formas de generación la instalación es similar. En el caso de generación A.C. puede instalarse más capacidad, y facilitarse su distribución a viviendas relativamente distantes del punto de generación. En el caso de generación con corriente D.C., si el punto de consumo está relativamente lejos (500 mts.) será necesario transportar las baterías a la Casa de Máquinas cada vez que se quieran cargar para ser usadas.

Estas soluciones que se han considerado para la vivienda rural vendrían a sustituir las pequeñas plantas generadoras de electricidad que funcionan con base en gasolina, en aquellos lugares en que se disponga del recurso hidráulico adecuado (ver anexo 3, hoja 5).

### 3.1.3 OFERTA DE EQUIPOS EN EL MERCADO

Como se indicará en el numeral 4, la necesidad de sustitución de combustibles no renovables por otras fuentes de energía ha promovido desde hace ya varios años, en todo el mundo, la fabricación de pequeños equipos hidroeléctricos. Se quiere a continuación indicar algunos de los que se conocen y que actualmente son ofrecidos tanto en el mercado nacional como en el internacional.

### 3.1.3.1 Equipos de fabricación nacional.

Aunque son muy pocas las experiencias que se reúnen en la Tabla No. 3.3, se quiere señalar que si estas no existen no es por falta de infraestructura, sino más bien por falta de demanda y de una mayor investigación y experimentación en el área. Se considera que con el impulso que ICEL quiere dar al plan de Micro-centrales seguramente serán muchos los equipos que nuestra industria podrá ofrecer.

### 3.1.3.2 Equipos de fabricación extranjera.

Los fabricantes extranjeros son numerosos y en la tabla No. 3.3 se da el nombre de algunos de ellos. Aunque no todos tienen representación en el país, sus equipos pueden adquirirse mediante importación directa. Como se mostrará en el numeral 4, correspondiente a costos, los precios de los equipos extranjeros son bastante más altos que los de fabricación nacional.

## 3.2 SOLUCIONES PARA LA AGROINDUSTRIA

Si miramos detenidamente las necesidades energéticas de la agroindustria (beneficio del café, movimiento de trapiches, molinos de grano, molinos de pescado, bombeo de agua para acueductos y riego, carpintería, aserrade-

ros, etc.) y los lugares en que podrían desarrollarse, se llega a la conclusión de que en muchos casos, puede aprovecharse la energía hidráulica para suplir las necesidades energéticas.

No es nada nuevo. Era esto lo que se hacía a finales del siglo pasado y principios del presente en nuestro país, y con anterioridad en toda Europa. Así lo atestiguan el gran número de instalaciones que hoy se pueden encontrar abandonadas a todo lo largo y alto de la región andina.

Como se expuso en la breve reseña histórica, este tipo de aprovechamiento de energía fue abandonado por dos razones principales. Primero, porque "se vió más fácil", y seguramente así lo era, la instalación de máquinas que funcionaban con base en combustibles no renovables, pero baratos. Segundo, a medida que fueron progresando los programas de electrificación rural y la Interconexión Eléctrica Nacional.

Los autores consideran que el empleo de la energía hidráulica, tal y como se empleaba por nuestra incipiente agroindustria de principios de siglo, puede ser útil nuevamente en el presente.

### 3.2.1 Empleo de la energía mecánica sin convertir a eléctrica

Decimos arriba que debe emplearse actualmente la energía hidráulica "tal como se empleaba" a principios de siglo. Para las necesidades agroindustriales el tipo de energía requerida para el movimiento de las máquinas normalmente es mecánico. La transformación a energía eléctrica, con todos los problemas y costos que esto involucra, pueden ser evitados. Además, se eliminan las ineficiencias propias de la transformación mecánica:eléctrica. La eficiencia de esta etapa puede ser del orden del 75%.

### 3.2.2 Localización de la turbina.

Construyendo las industrias en los sitios en donde pueda aprovecharse la energía hidráulica, se eliminan otros costos inherentes a la solución eléctrica para potencias grandes, como son los generadores, los transformadores, las líneas de transmisión y distribución, los motores eléctricos con sus protecciones, etc. Además, como puede apreciarse de las listas de precios adjuntas en las tablas 4.2 a 4.4, son casi siempre los componentes más costosos.

### 3.2.3 Empleo de mano de obra local.

Tanto la instalación de los equipos, su posterior mante-

nimiento e incluso parte de la fabricación, pueden ser realizados por la población o grupo de personas interesadas en el desarrollo de la agroindustria. De este modo se asegura la permanencia y posible reproducción de este tipo de instalaciones.

Con las anteriores consideraciones, se insiste en que es una forma de solución que debe ser impulsada. Hasta la fecha no ha sido considerada en los diferentes congresos y foros que sobre energía se han hecho en nuestro país en los últimos años.

Para aquellas agroindustrias que requieren en sus procesos del suministro de calor, se considera conveniente el empleo de desechos de la misma producción agrícola (8). Mediante el almacenamiento y secado de estos, en tiempos relativamente cortos puede disponerse de combustibles que pueden contribuir en la disminución del consumo de ACPM y madera en los diferentes tipos de secadores y demás aparatos que consumen este combustible en la actualidad. (6)

Además, hay empresas en Colombia que están fabricando quemadores que funcionan eficientemente con el uso de estos tipos de combustibles que no son convencionales actualmente (9).

Las obras hidráulicas requeridas para esta solución propuesta son similares a las necesarias para las plantas de más de dos kilovatios y que, aunque de menor escala, se consideraron en la sección 3.1.1.

### 3.2.4 MOTORES HIDRAULICOS

Se designa como motor hidráulico aquel implemento que sirve para convertir la energía hidráulica disponible en una instalación como las que se han considerado anteriormente, en energía mecánica útil para mover las máquinas de la agroindustria. Dentro de este tipo de motores se consideran los siguientes.

#### 3.2.4.1 Ruedas lentas

Son ruedas de paletas planas y de diámetro bastante mayor que el de las turbinas modernas. Pueden ser fabricadas por cualquier persona que disponga de un taller de carpintería no muy completo. Tienen eficiencias elevadas (del orden del 90%) y giran lentamente. Con ellas se pueden aprovechar caídas de 4 metros. Ya en las primeras ediciones del Manual Cafetero se dedicaba un capítulo a la promoción del desarrollo de este tipo de ruedas.

Turbinas modernas.

Empleando una instalación hidráulica similar a la que se describió en 3.1.1 pueden usarse en la agroindustria las turbinas tipo Pelton, las Francis y las Axiales.

- Turbinas Pelton:

Como para esta utilización no se requieren velocidades tan elevadas como las requeridas para el movimiento de generadores eléctricos, los rodetes deberán ser fabricados en diámetros mayores. De este modo se evita el empleo de transmisiones con relaciones de velocidad muy altas.

- Turbinas Francis:

Son turbinas cuya velocidad específica es mayor que las de las turbinas Pelton. En Colombia hay muy pocos fabricantes de ellas (ver anexo 3, hoja 7). Sin embargo, dentro de los equipos que pueden adquirirse en el país, y que pueden desempeñar el papel de las turbinas Francis, están las bombas centrífugas. Si se utilizan "al revés" pueden usarse como turbinas, aunque se incurre en ineficiencias mayores que las normales. Las eficiencias son de 30 a 40%.

- Turbina Axial:

Su velocidad específica es mayor que la de las anteriores. Similarmenete a las Francis, su fabricación es complicada y son muy pocos los fabricantes nacionales. (ver anexo 3, hojas 8, 9, y 10).

Peró también en este caso es posible usar "al revés" las bombas axiales, para así poder disponer de una turbina. Para evitar las ineficiencias de esta práctica, puede fabricarse un motor de turbina y así poder remplazar el de la bomba.

### 3.3 SOLUCIONES PARA PEQUEÑAS POBLACIONES

En lo correspondiente a soluciones que sirvan para dotar de energía eléctrica a pequeñas poblaciones, de modo que se pueda suplir la demanda que se indicó en el capítulo 2, es importante señalar que los elementos de que consta una instalación son similares a los descritos para la "solución de vivienda". El tamaño de las obras aumenta, y el costo por kilovatio normalmente se reduce. Se dice que "normalmente", ya que ahora entran en juego factores tales como transmisión de la energía eléctrica a distancia, transformación y distribución.

El potencial para desarrollo rural en Colombia es altísimo. En la cita (10) se dan los resultados del Inventario hidroeléctrico nacional, y se concluye que Colombia posee un potencial instalable de casi 92 millones de kilovatios.

Nosotros consideramos que el potencial hidroeléctrico es mayor, si se observa que en el inventario citado solamente se tuvieron en cuenta proyectos hidroeléctricos mayores de 100 mil kilovatios.

De modo similar a como sucedió con las pequeñas instalaciones para la agroindustria, en 1906 ya se utilizaba en Colombia la energía hidráulica para mover "enormes dinamos que generaban algunas decenas de kilovatios" (4) En la actualidad, si se visitan lugares "remotos" de los departamentos andinos, se pueden encontrar plantas que salieron de servicio ya sea por la iniciación de los servicios de Interconexión Nacional, por la Electrificación Rural, o porque los combustibles eran muy baratos, ó simplemente, por falta de un mantenimiento adecuado. Todos estos factores permitieron el deterioro total.

### 3.3.1 Criterios de diseño

Cuando se habla del diseño de cualquier totalidad o parte

de una micro-central hidroeléctrica, deben tenerse en cuenta los siguientes factores; de no ser considerados, seguramente muchos proyectos pasarán difícilmente la etapa de diseño.

#### 3.3.1.1 Simplicidad vs. Sofisticación.

Como se indicará en el numeral 4, con tecnología colombiana ya se ha llegado a establecer una relación costo/kilovatio bastante inferior que la obtenida para soluciones propuestas por empresas extranjeras. Esto responde en parte a que los equipos son menos sofisticados.

Después de observar las diferentes experiencias que hemos realizado en los últimos años, y teniendo en cuenta los problemas que se viven en la zona rural colombiana (deterioro, abrasión, descuido, tipo de mantenimiento, operación, transporte) queremos llamar la atención sobre la importancia de mantener la simplicidad en los diseños.

#### 3.3.1.2 Selección de materiales y su transporte

La selección de materiales puede producir serias restricciones en los diseños. Deben intentarse diseños que siendo simples aprovechen materiales y recursos

de la zona. Se citan algunos problemas comunes que pueden ayudar a explicar el criterio.

Algunos lugares son accesibles solamente por medio de bestias que circulan por trochas difíciles. Esto produce limitaciones en cuanto a pesos y tamaños de cada una de las partes. Otros lugares son accesibles solamente mediante avión. En este caso el principal limitante es el costo de transporte y la periodicidad de los viajes. En algunas zonas de Colombia, el acceso de carga aérea está limitado por la capacidad de los aviones ó avionetas. La falta de cumplimiento en los itinerarios establecidos puede afectar de modo considerable el desarrollo de los programas de actividades del proyecto.

Otros lugares son accesibles solamente mediante río, y estos no son navegables durante todo el año. Además de limitar el período de construcción, también limita el tamaño de partes que pueden ser transportadas. El transporte de materiales tiene que efectuarse durante el invierno para construir durante el verano.

A las poblaciones de la costa (pacífica especialmente) se tiene acceso mediante la navegación marítima. La frecuencia de viajes se caracteriza por espaciamientos

grandes entre viajes consecutivos.

### 3.3.1.3 Participación de la comunidad.

El equipo de técnicos que coordinen la construcción de la obra debe reducirse al mínimo, de modo que los costos no aumenten excesivamente.

Para cada obra en particular se puede llegar a determinar cuál es el número mínimo de integrantes de este equipo coordinador. Respecto a la mano de obra: en el numeral 5 se hace bastante hincapié en la serie de ventajas (económicas y educativas) que trae el empleo de mano de obra de la población interesada en el desarrollo de un proyecto específico. Este es uno de los factores que vuelve costosa la microgeneración hidroeléctrica cuando se intenta su desarrollo para particulares, como sucede en el caso de instalaciones en haciendas.

Al emplear mano de obra de la población, se incurre realmente en el costo, pero este es aportado directamente por los interesados, cuyo único capital es normalmente su fuerza de trabajo. Es interesante observar en el proyecto piloto (numeral 5), el costo de la mano de obra, como porcentaje del total.

Normas de las electrificadoras.

Para el desarrollo de proyectos de electrificación debe tenerse en cuenta el cumplimiento de las normas de diseño que para el efecto tiene el ICEL, y algunas otras correspondientes a las distintas electrificadoras departamentales.

También, en proyectos que no sean desarrollados por entidades, es importante tener en cuenta programas regionales de desarrollo que se encuentran en ejecución. De ignorarlos, puede incurrirse en interferencias con el desarrollo de proyectos similares, o puede ocurrir que se haga un doble gasto para la solución de un mismo problema.

Es importante también, contemplar los aspectos legales que se relacionan con el aprovechamiento de los recursos hidráulicos. Los decretos que reglamentan esta actividad se encuentran en la publicación de la Oficina Jurídica del Ministerio de Agricultura: "Legislación de aguas de uso público, fuerza hidráulica y explotación de los lechos de los ríos", publicado en Bogotá, por la Imprenta Nacional, en 1966.

### 3.3.1.5 Equipos

Son similares a los descritos para la vivienda rural. Como las capacidades son mayores, los equipos de fabricación nacional (turbinas especialmente) serán solución siempre y cuando las potencias generadas no sobrepasen los 50 kilovatios por unidad. Las turbinas tipo Francis y Axial deberán ser suplidas casi en su totalidad por fabricantes extranjeros durante las primeras etapas de los desarrollos que se emprendan. Si una vez iniciado el proceso de implantación, se logran promover la investigación y el desarrollo de estos equipos en el país, con la infraestructura industrial actual se podrá satisfacer plenamente la demanda interna.

Lo mismo sucede con los equipos eléctricos tales como Generadores monofásicos y trifásicos, controles y reguladores. Ya se conocen intentos de desarrollo de generadores eléctricos de bajas revoluciones cuya fabricación es enteramente nacional (11).

### 3.3.2 EJECUCION DE LOS PROYECTOS

Para la ejecución de los proyectos las principales limitaciones son de tipo financiero, ya que la ingeniería, mano de obra, transportes y demás recursos indispensables

para su desarrollo se encuentran normalmente sub-empleados en Colombia.

### 3.3.2.1 Ingeniería

La ingeniería requerida para los estudios, análisis, diseños, fabricación de equipos, construcción de instalaciones y montajes puede ser colombiana en su totalidad. El potencial de usuarios es tan elevado, que si existen los recursos económicos necesarios, y se atiende la demanda real de energía que existe en el país, seguramente que la ingeniería nacional se verá plenamente ocupada. Sin embargo, afrontar el problema implica un gran reto a los grupos económicos pudientes y a la ingeniería colombiana en particular. Refiriéndose a los Ingenieros, dice E.F. Schumacher (12): "Quienes pueden ayudar -ricos, educados, de ciudad- saben cómo hacer las cosas a su manera; pero, saben ellos cómo promover la auto-gestión entre 9.0 millones de campesinos -pobres, analfabetas la mayoría?. Ellos saben cómo hacer pocas cosas muy grandes en las grandes ciudades; pero saben ellos cómo hacer miles de cosas pequeñas en pequeños pueblos? Ellos saben cómo hacer las obras con grandes capitales, pero saben ellos cómo hacerlas con gran cantidad de mano de obra que inicialmente no tiene entrenamiento?".

### 3.3.2.2 Transporte

Aunque ya existen medios de transporte que brindan acceso a las diferentes zonas donde pueden desarrollarse proyectos como los propuestos, en algunos será necesario considerar el empleo de medios tales como helicópteros. Ya en la sección 3.3.1.2., al hablar sobre la selección de materiales y su transporte, se indicaron varios de los medios de transporte y su disponibilidad para poder tener acceso a las zonas de interés.

### 3.3.2.3 Mano de obra

Aunque no existe en Colombia mano de obra especializada para este tipo de obras, sí se dispone de gran cantidad de mano de obra no especializada. Ahora, si los diseños se orientan hacia proyectos simples, la participación de las comunidades de las poblaciones en las que se quieran efectuar los desarrollos de las micro-centrales juega un papel definitivo. Cuando es la comunidad quien ejecuta su proyecto, el sentido de auto-valoración se fortalece, las técnicas de construcción son aprendidas y la permanencia de la obra se asegura, ya que la misma comunidad será la encargada de su operación y mantenimiento. Cuando la comunidad no ha participado, generalmente la vida de este tipo de obras es muy corta.

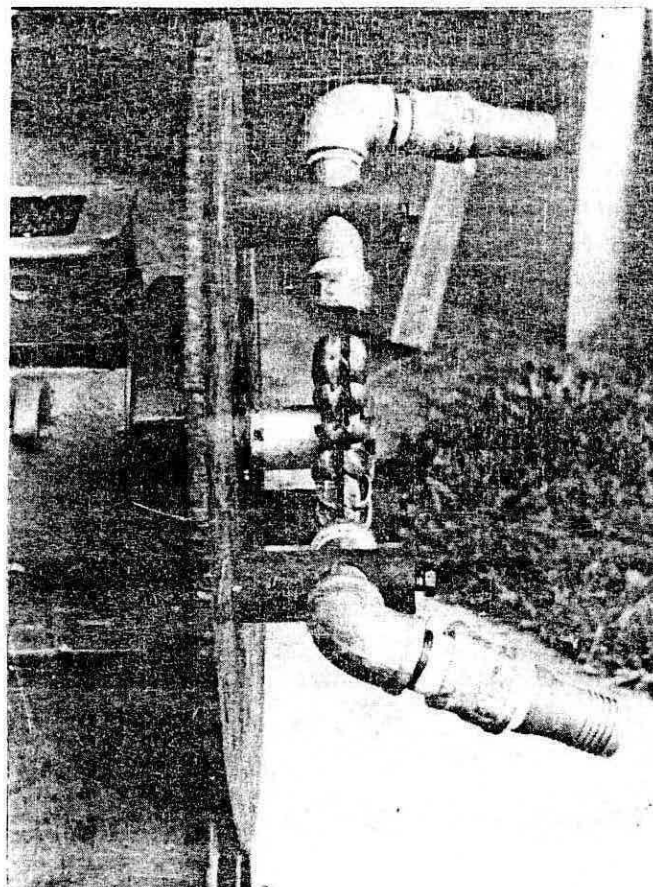
#### 3.3.2.4 Operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento de las micro-centrales dependerá de la Junta o Agrupación que represente a la comunidad. Para su financiación se puede contar con la recaudación de los aportes que por concepto de tarifas de servicio fije el organismo responsable. El empleo de la capacidad no utilizada inicialmente puede ayudar también a aumentar el fondo que se destine para los gastos de operación y mantenimiento, así como para la financiación misma de la obra.

CUADRO 3.1 - PRECIOS UNITARIOS\* Y CARACTERISTICAS DE TUBERIA

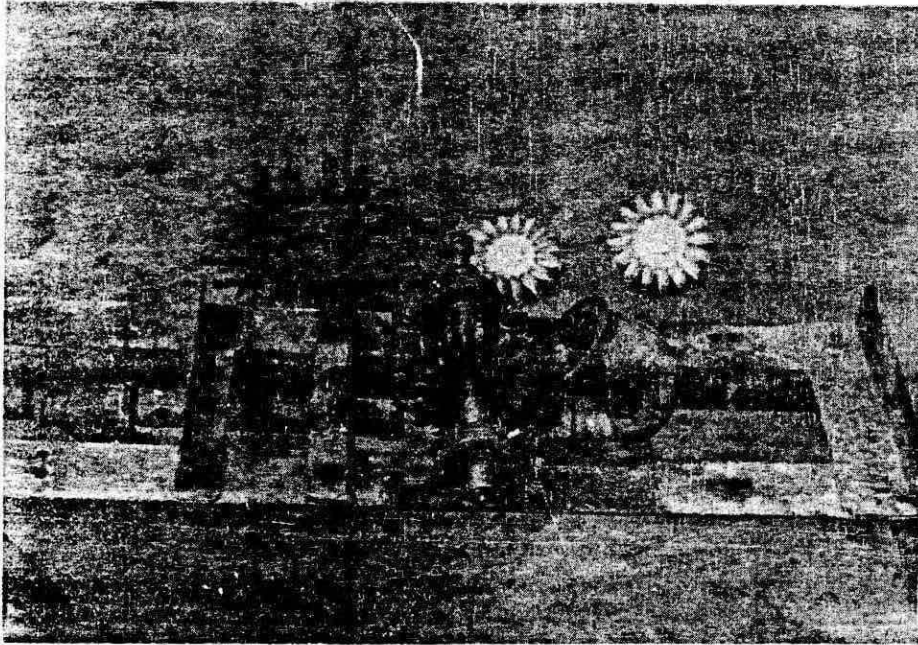
MATERIAL	FABRICANTE O DISTRIBUIDOR	DIAMETRO						OBSERVACIONES
		2"	3"	4"	6"	8"	12"	
Hierro fundido	El Cubilote Ltda.	160	234	297	567	1200	-	Frágil, pesada, difícil de montar. Buena resistencia a la corrosión.
Acero	Peclar	450	450	980	-	2089	-	No es frágil. Se corroe.
Acero Galvanizado	La Ducha	283	566	780	-	-	-	Util si hay luces grandes.
Asbesto cemento.	Eternit.	137	178	302	553	994	1987	Se corroe si las aguas son ácidas; peso moderado, frágil.
Concreto	Titán	-	-	-	-	-	247,50	Para cabezas hasta de 6 m. Frágil, pesado y con problemas en uniones.
Gres con unión de Poliuretano.	Moore	-	-	142	222	336	-	Como el concreto pero no tan pesado. Puede resistir presiones hasta de 12 m. de agua.
P.V.C. unión Z	Norventas	106	206	334	685	1165	-	Fácil de manejar y unir. Pérdidas por fricción bajas. Durable mientras no haya sedimentos abrasivos.
Polietileno	La Ducha	34	80	150	-	-	-	Para 2" y 3" se consigue en rollos de 100 y 50 mts. Para 4", en tramos cortos.

\* Precios en pesos/mt., incluyen uniones. Octubre/79. No se dan precios para tuberías de madera ya que el costo depende de las facilidades que existan en cada sitio en particular.



Turbina típica para Solución-Vivienda

Instalación: Vereda San Luis, Antioquia.  
Turbina: Pelton, de 3 chorros, sin control.  
Fabricada por: Estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana, de Medellín, asesorados por John D. Burton.  
Capacidad instal.: 1.75 KW.  
Generador: marca BKB  
110/220 voltios  
1.75 KVA.



### Turbinas típicas para Solución-Vivienda

Instalación: San Cayetano, Cundinamarca.  
Propiedad de Timoleón Gómez P.

Turbina\*: Pelton, de 1 chorro, con control .  
Diámetro del rodete = 5 "

Fabricada por: Universidad de los Andes, Departamento  
de Ingeniería Mecánica.

Capacidad instal.: 2.2 KW.

---

\* Las demás turbinas que aparecen en la foto fueron  
fabricadas también en la Universidad de los Andes.

TABLA 3.2

La firma SEDAC LIMITADA, calle 34 No. 15-03, en Bogotá tiene a la venta motogeneradores Redi-Line (Honeywell) de las siguientes características:

Modelo	Voltaje Batería	Salida de Redi-Line			Costo \$
		Volts.	Amps.	Watts	
DA 12A	12	120 VAC (60 Hz)	5	500	26.288
DA 24A	24	120 VAC (60 Hz)	8	800	
DA 36A	36	120 VAC (60 Hz)	9	900	
CN 12U	12	120 VDC	10	1000	
CN 24U	24	120 VDC	10	1000	
CN 36U	36	120 VDC	11	1100	
DA 12L	12	120 VAC		1600	43.336

TABLA 3.3

FABRICANTES DE UNIDADES GENERADORAS (NACIONALES Y EX-  
TRANJERAS).

A. EXTRANJEROS:

No.	NOMBRE	POTENCIA GENERADA POR UNIDAD (KW)	
1	Allis Chalmers	50	- 5000
2	Ossberger (Alemania	5	- 1250
3	Northern Water-Power U.S.A.		
4	Leffel (U.S.A)		
5	Barber (Canadá)		
6	Bofors- Nohab (Suecia)		
7	Gilbert, Gilkes and Gordon (U.K)		
8	Leroy - Somer (Francia)	2.8	- 34
9	Childs & Associates (USA)		
10	Alaska Wind and Water Power Company.	0.05	- 56

B. NACIONALES:

Centro de Desarrollo Integrado			
	"Las Gaviotas"	1	- 50
Sistemas Energéticos.			
Talleres Klein			
KM Industrial			
	C.CH.LG. Cía. Limitada	0.200	- 50
Talleres "Elme", B/manga.			
	Manufacturas Hidroagrícolas.	8	- 65

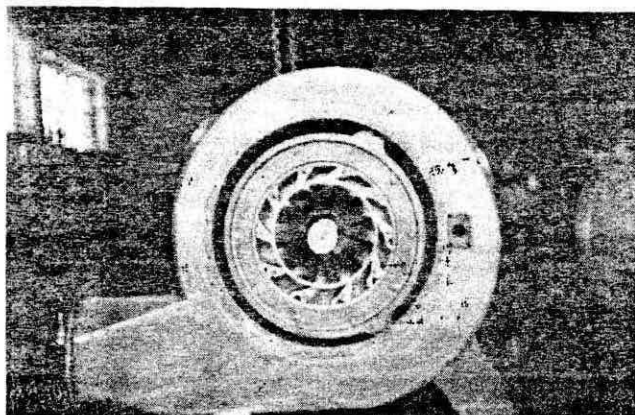


FOTO No. 1

Turbina tipo Francis

Fabricada por Talleres "ELME"

Propiedad de Adolfo Bergsneider e hijo.

Bucaramanga, Santander

NOTA:

No se tienen datos referentes a las capacidades de los equipos producidos por esta empresa.

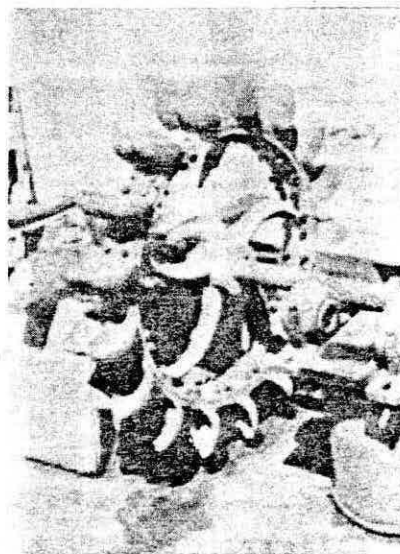
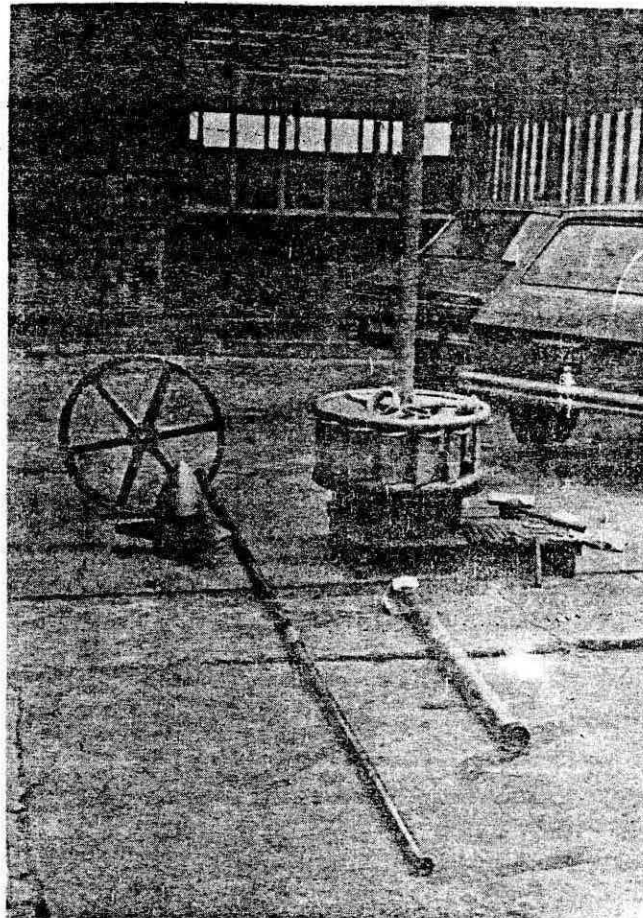


FOTO No. 2

Rueda Pelton, compuesta.

Fabricada en Ibagué, Tolima, Colombia.



mentos de la turbina axial fabricada por el Ingeniero Hermógenes Gamboa. En las hojas siguientes se observan algunos detalles de su instalación.



Instalación típica para turbina axial.

Localización: Gaviotas, Vichada, Colombia

Capacidad: 10 kilovatios.

NOTA:

La "casa de máquinas" fue la que se construyó inicialmente. En la siguiente hoja se observan detalles de la nueva instalación.



Instalación para turbina axial, eje vertical.  
Gaviotas, Vichada.

## 4. ESTUDIO DE COSTOS

Ante el alza continuada del precio de los combustibles (ACPM y gasolina), el desarrollo de las microcentrales hidráulicas se presenta como una solución atractiva si se compara con el empleo de plantas Diesel y a Gasolina.

Actualmente se observa cómo en la mayoría de países industrializados el potencial hidroeléctrico se encuentra desarrollado casi en su totalidad. Sin embargo, como la demanda de energía eléctrica aumenta y las plantas instaladas no dan abasto, el interés se ha volcado hacia el desarrollo de las pequeñas hidroeléctricas. No es este el caso colombiano.

En Colombia, el interés por el desarrollo de las microcentrales obedece a la dificultad económica que presenta el abastecimiento de combustibles para plantas Diesel instaladas en lugares apartados, y al posible interés que pueda presentar para el gobierno nacional y el capital privado dotar de obras de infraestructura a las diferentes regiones apartadas.

Se busca en este capítulo el poder dar al lector una idea de lo que puede llegar a costar una determinada instalación. Para ello se mostrarán cuáles son los cos

tos de los elementos de adquisición en el país, y cuáles, cuando estos son adquiridos en el extranjero. Se mostrarán ejemplos que pueden dar una idea del valor del kilovatio instalado en diferentes regiones del país. Se hace, posteriormente, la evaluación económica de dos ejemplos en los cuales se resuelve el problema energético usando recursos hidráulicos, contra la solución del mismo problema, pero mediante plantas Diesel y a gasolina. Finalmente se señalan cuáles son, según el criterio de los autores del presente trabajo, los cuellos de botella que se afrontan actualmente en el desarrollo del Plan de Microcentrales.

## 4.1

## PARA TENER UNA IDEA DEL COSTO DE UNA MICROCENTRAL

Es tal la demanda actual de microcentrales hidráulicas en el mundo, que ya existen muchos fabricantes en varios países, dedicados a programas de investigación y desarrollo para reducir los costos de las unidades de menor capacidad. Con todo y acercarse a unos 10 años la vida de estos programas, se mostrará adelante que los precios de los equipos ofrecidos por los fabricantes extranjeros son bastante más altos que los hasta ahora desarrollados en Colombia para suplir necesidades similares.

Antes de abordar este punto, conviene anotar que en Colombia no se ha hecho un inventario de los recursos hidráulicos para plantas con capacidades menores a los 100 megavatios (10). Este inventario, aunque difícil, permitiría conocer aquellos sitios en los cuales es viable el desarrollo de las soluciones que se proponen (Capítulo 3).

Para dar una idea de cuál puede ser el costo de las pequeñas hidroeléctricas, se toman como base las muchas experiencias realizadas fuera de Colombia (Tabla 4.1), los estudios de varias microcentrales que serán construidas en Honduras, y algunas experiencias realizadas en Colombia en los últimos años.

Para el logro del primero de los objetivos (idea aproximada del costo de una microcentral) se usará como patrón de comparación el "costo unitario de generación". Este se define como el valor de compra de la unidad generadora. Dentro de este valor se incluyen los precios de: turbina, regulador, generador y controles. Como precio de los reguladores para las instalaciones en Colombia se adopta el valor comercial de estos en el exterior.

La tabla 4.1 muestra los costos unitarios para 23 microcentrales de muy diferentes capacidades. De los ejemplos citados, los referentes a Colombia son típicos de regiones apartadas, con excepción de la instalación San Felipe, en Caldas.

Del análisis de la tabla 4.1 son evidentes las siguientes conclusiones: Como la mano de obra es más barata en Latinoamérica, así también, los "costos unitarios" son más bajos. De la tabla se observa con claridad que componentes tales como presa, rebosadero, tomas, tubería y los equipos mecánicos y eléctricos complementarios (compuertas, grúas y transformadores) son los causantes de la disparidad de "costos unitarios".

Para la construcción en sitios lejanos el proyecto se encarece por los costos de los transportes del personal técnico, materiales y equipos.

Con la tabla No. 4.1 puede lograrse una idea aproximada del costo total de un determinado proyecto. Con base en el costo de la unidad generadora (turbina, generador, regulador, y control), puede tenerse una idea del costo total de la instalación, teniendo en cuenta las dificultades que puedan presentarse y que casi siempre son las encargadas de encarecer los proyectos.

En la Tabla No. 3.3 se da la lista de los diferentes fabricantes de equipos para pequeñas hidroeléctricas en Colombia y el exterior.

#### 4.1.1 Costo aproximado de la unidad generadora

En la referencia (13) se muestra una fórmula sencilla para calcular los precios FOB aproximados de unidades generadoras. Con ella se obtienen los precios aproximados, en dólares de agosto de 1978.

De acuerdo con ésta fórmula,

$$C = \left( \frac{P}{\sqrt{h}} \right)^{0.7} \times 9000 = \text{precio FOB (dls. de 1978)}$$

P es la potencia en kilovatios y h es la caída en metros.

El precio obtenido de la fórmula incluye turbina, generador, regulador y controles. De estos elementos, las turbinas pueden ser fabricadas en Colombia y por lo tanto el precio real de la unidad generadora será menor en nuestro país.

Para precios de reguladores extranjeros, ver tabla 4.4

#### 4.1.1.1 Ejemplo 1: Minicentral para pequeña población

Para el proyecto piloto que se propone en el numeral 5,  $P$  es 42.5 kilovatios y  $h$  es de 80 metros. Por lo tanto el cálculo de  $C$  es de 26,793 dls. Utilizando equipos adquiridos en el país, con excepción del regulador (se importaría), esta cifra es del orden de 13,400 dls. Vale notar que este último precio es obtenido con base en los precios actualizados de equipos, mientras que el primero corresponde al precio en dólares, en 1978. Como lo indica la fórmula, el costo por kilovatio aumenta a medida que la capacidad de la planta y la caída neta sobre la turbina se hacen menores. Si se usa información de la tabla No. 4.1, se puede tener una idea del costo total de la obra en distintas regiones: en Panguí, Departamento del Chocó, esta obra vale cerca de tres millones de pesos, mientras que si se construye una obra similar en Araracuara, Amazonas, su costo sería casi cuatro veces mayor.

#### 4.1.1.2 Ejemplo 2: Microcentrales para generación D.C.

Para una instalación de 200 vatios y 11 metros de caída neta sobre la turbina, el precio FOB de la unidad de acuerdo con la fórmula antes mencionada será cercano a 1260 dls. Este valor concuerda aceptablemente

con el valor suministrado por el fabricante Alaska Wind and Water Power Company (Tabla 3.3), que es de 1500 dls.

El equipo similar, fabricado en Colombia (Ver anexo 5, hojas 1 y 3) vale 825 dls.

Los dos ejemplos citados parecen sugerir que en la fórmula usada para el cálculo del precio de la unidad generadora puede cambiarse el factor 9000 por 4500 y así obtener el precio FOB de la unidad usando partes que pueden ser adquiridas en Colombia.

#### 4.1.2 Listas de precios

En los numerales anteriores se ha querido brindar un medio para el cálculo aproximado del costo de las instalaciones hidráulicas que estén comprendidas dentro del término "micro y mini-centrales".

Sin embargo, para que el lector pueda tener una idea de cuál es el detalle de los costos que conforman el costo global de una instalación y de cómo inciden estos en el costo por kilovatio, se indican a continuación los precios de las partes relevantes en la definición del costo de la unidad generadora. Todos los equipos que se consideran pueden ser adquiridos en Colombia.

#### 4.1.2.1 Generadores eléctricos

En la tabla 4.2 se indican los precios de venta al público de generadores fabricados en el extranjero, con potencias entre 2.5 y 75 KVA. Para adquirir generadores con capacidades inferiores a las anotadas, es necesaria su importación directa, o recurrir a generadores de segunda. La columna en dólares se calcula suponiendo un cambio de 45 pesos por dólar. Este es el mismo cambio utilizado en las demás tablas que se anexan.

#### 4.1.2.2 Transformadores

En la tabla 4.3 se muestran los precios para el público de transformadores monofásicos y trifásicos, fabricados en Colombia.

#### 4.1.2.3 Turbinas

En la actualidad el precio de las turbinas tipo Pelton fabricadas en Colombia es del orden de 70 dis./kilovatio. No se consideran incluidos dentro de este valor elementos tales como válvulas, regulador y control. Para turbinas axiales el costo de la parte mecánica puede ser un 40% mayor.

Ha parecido interesante adjuntar los precios de los equipos ofrecidos por dos fabricantes extranjeros. En la tabla 4.4 se indican los precios de equipos para micro-centrales cargadoras de baterías. En la tabla 4.5 aparecen los precios para el conjunto turbina-generador-control para bajas caídas y potencias hasta de 40 kilovatios.

#### 4.1.2.4 Línea de transmisión.

En aquellos casos en que sea necesario el uso de línea de transmisión, una vez determinados el voltaje al cual se va a transmitir y el tipo de conductor, puede determinarse el costo por kilómetro. De acuerdo con cálculos efectuados por ICEL, el orden de los costos de construcción de las líneas de transmisión es como sigue:

15 KV	-	US\$ 4000 - 4500	por Km.
20 KV	-	4500 - 5000	por Km.
30 KV	-	6000 - 7000	por Km.
60 KV	-	7000 - 8000	por Km.

## 4.2 EVALUACION ECONOMICA

### 4.2.1 Criterios generales

Se describen a continuación los criterios generales para

la evaluación económica de dos proyectos hidroeléctricos que se citan a modo de ejemplo.

4.2.1.1 El objetivo que normalmente se persigue al realizar un desarrollo hidroeléctrico es el aprovechamiento de alguna fuente energética cercana, para suplir, en su totalidad o en parte, el consumo de combustible en las plantas Diesel.

4.2.1.2 Para la justificación económica del proyecto se adopta la relación Beneficio/Costo.

4.2.1.3 Todos los costos y beneficios que se mencionan son anuales.

4.2.1.4 Se emplea una tasa de interés anual del 10%.

4.2.1.5 Como la solución Diesel no requiere de línea de transmisión, el costo de ella se considera solamente dentro del costo total de la instalación hidroeléctrica.

4.2.1.6 Se supone que en 10 años los precios del ACPM y la gasolina se elevarán en un 25%.

4.2.2 Costo anual

4.2.2.1 Costo Fijo

El costo anual de un proyecto hidroeléctrico incluye

costos fijos y costos variables para operación y mantenimiento. Los costos fijos anuales incluyen intereses, depreciación, fondo de reposición, que se expresan generalmente como porcentaje del costo total del proyecto y que son como se indica a continuación:

<u>ITEM</u>	<u>% del Costo Total</u>
Intereses	10%
Depreciación (50 años)	0.086
Fondo de Reposición	0.41
Subtotal	10.496

#### 4.2.2.2 Operación y Mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento, varían considerablemente según el tamaño o capacidad instalada de la planta. De acuerdo con la experiencia de uno de los fabricantes extranjeros (16) los costos de operación y mantenimiento se estiman en:

Capacidad(KW)	O&M (US\$/KW/ARO)
5.000	8,50
4.000	10,50
3.000	13,00
2.000	17,50
1.000	26,00
500	33,00
200	41,00

Para una planta de 12 KW (que corresponde al ejemplo 1 citado en 4.4.1) puede estimarse el costo de operación y mantenimiento como de 125 U\$/Kw/año lo cual incluye el jornal de una persona que esté pendiente de tiempo completo del funcionamiento de la planta, y el cambio de partes, limpieza, etc.

#### 4.3 BENEFICIO ANUAL

4.3.1 Para evaluar el beneficio anual del proyecto se emplean los costos de capacidad y energía de las dos fuentes de potencia entre las cuales se desea seleccionar la más favorable. La fuente alternativa de potencia que puede prestar un servicio similar al de la hidroeléctrica es la unidad Diesel. Por lo tanto, la relación beneficio/Costo se establecerá entre la instalación hidroeléctrica y la planta Diesel equivalente.

#### 4.3.2 Energía obtenida

La salida de potencia total se calcula a partir de los picos confiables (KW) y de la producción anual de kilovatios-hora. Los picos confiables corresponden a la salida pico generada a partir de flujos completamente confiables, concentrados en 6 horas de operación

El promedio anual de energía producida se calcula a partir de los flujos mensuales de invierno (9 meses del año), con un factor de utilización del 80%.

#### 4.3.3 Beneficios

Los beneficios derivados de la potencia hidráulica instalada se deben especialmente a los valores de capacidad y energía instaladas que se obtienen al comparar el costo unitario de capacidad y energía de la unidad Diesel alternativa.

#### 4.4 EVALUACION ECONOMICA

Con base en los criterios mencionados anteriormente, la evaluación económica del proyecto se realiza tal como se indica en los ejemplos que se dan a continuación.

4.4.1 Ejemplo 1: Minicentral de 12 Kw. en Araracuara, Amazonas.

1.	Capacidad instalada (Kw)	12
2.	Picos confiables*	12
3.	Energía obtenida (Kw-hr. anuales)+	69.120
4.	Costo del proyecto (10 <sup>3</sup> pesos)	3.000
5.	Costo anual	
	a. Costos fijos	
	1. Intereses (10%)	300.0
	2. Depreciación (0.086%)	1.7
	3. Fondo de reposición (0.41%)	<u>8.2</u>
	COSTO FIJO TOTAL	309.9
	b. Operación y mantenimiento	60.
	COSTO TOTAL ANUAL	369.9

		<u>Precio del ACPM en Araracuara</u>	
		<u>Presente</u>	<u>a 10 años</u>
6.	Beneficio anual (10 <sup>3</sup> pesos)		
a.	Valor de planta Diesel	78.0	78.0
b.	Valor de la energía:		
	69.120 Kw-hr. Costo de energía**	183.9	229.8
c.	Ahorro en Operación y Mant. al no usar planta hidráulica.		
	ca.	25.7	25.7
	Beneficio anual total	287.6	333.5

\* Teniendo en cuenta los caudales permanentes durante los 9 meses de invierno. Durante el verano los caudales pueden ser 40 veces menores y no se puede embalsar suficiente agua que garantice un funcionamiento permanente.

+ 16 horas al día de funcionamiento de la planta.

\*\* El precio del galón ACPM en Araracuara es cercano a 40\$

## 7. Evaluación económica

a. Relación Beneficio Costo	0.77	0.90
b. Beneficio anual neto (10 <sup>3</sup> pesos)	-82.3	-36.4
c. \$/Kw instalado		250.000
d. Costo de producción (\$/KWH)	5.35	

4.4.2

Ejemplo 2: Micro-central de 0.4 Kw. en Valle, Departamento del Chocó, mediante el empleo de dos unidades de 0.2 Kw.

1. Capacidad instalada (Kw)	0.4	
2. Picos confiables (Kw)	2.0	
3. Energía obtenida (Kw-hr- anuales)+	3456	
4. Costo del proyecto (10 <sup>3</sup> pesos)	166	
5. Costo anual.		
a. Costos fijos		
1. Intereses (10%)	16.6	
2. Depreciación (0.036%)	0.1	
3. Fondo de reposición (0.41%).	<u>0.7</u>	
Costo fijo total	17.4	
b. Operación y Mantenimiento	36	
Costo total anual	53.4	
6. Beneficio anual (10 <sup>3</sup> pesos)		<u>Precio de gasolina en Valle</u>
		<u>Presente</u> <u>a 10 años</u>
a. Valor de planta de gasolina equivalente.	10.3	10.3

+ 24 horas diarias, cargando baterías.

b. Valor de la energía: 3456 KWH x costo de energía*	74.1	92.6
c. Ahorro en operación y mantenimiento al no usar planta hidráulica.	14.4	14.4
Beneficio anual total:	98.8	117.3

## 7. Evaluación económica.

a. Relación Beneficio Costo	1.9	2.2
b. Beneficio anual neto (10 <sup>3</sup> pesos)	45.4	63.9
c. \$/Kw instalado	83.000	
d. Costo de producción (\$/KWH)	15.45	

El resultado de la evaluación para el primer ejemplo da una relación Beneficio-Costo de 0.77 que subirá por lo menos a 0.9 en 10 años, suponiendo que el alza en el precio del ACPM sea del 25%. Aunque en este caso el beneficio anual neto es negativo, el costo de producción es bajo, si se consideran las condiciones de Araracuara. Para el segundo ejemplo la evaluación resulta ampliamente favorable para la microcentral hidráulica, ya que la relación Beneficio-Costo es de 1.9 y subirá por lo menos a 2.2. En este caso el beneficio anual neto presente es de 45.400 \$/año.

---

\* El precio del galón de gasolina es actualmente cercano a 80\$/galón.

#### 4.5 CUELLOS DE BOTELLA

Se explica en seguida cuáles son las dificultades que se presentan en la actualidad para el desarrollo extensivo de las mini-centrales en Colombia. Estas dificultades han sido clasificadas dentro de tres grupos cuya naturaleza difiere: dificultades de tipo humano, elementos que encarecen significativamente el costo de las mini-centrales y los problemas de tipo financiero.

##### 4.5.1 Factor humano

El factor humano considerado como cuello de botella se refiere a dos aspectos fundamentales: el primero de ellos es la disponibilidad de Ingenieros y Técnicos con capacidad suficiente para acometer este tipo de obras. Segundo, poder contar con la participación de mano de obra local para el desarrollo de cada uno de los proyectos.

##### 4.5.1.1 Ingenieros y Técnicos

Aunque se dispone de la cantidad suficiente de Ingenieros y técnicos para acometer las obras, el tipo de formación que han recibido generalmente no los capacita para este tipo de trabajo. Se ha dicho anteriormente que en proyectos tipo mini-central debe reducirse la

Ingeniería al mínimo. Pues bien, aunque esto se pueda hacer, y aunque se encuentren gran cantidad de profesionales sub-empleados y desempleados, hacen falta Ingenieros que quieran y puedan hacer este tipo de trabajo.

En cuanto a los técnicos: puede formarse en politécnicos e instituciones tipo SENA el personal calificado necesario para participar en el desarrollo de las micro y mini-centrales. Especialmente en las primeras.

#### 4.5.1.2 Participación de la Comunidad

Los autores quieren hacer énfasis en la gran importancia que tiene la participación de la Comunidad en la construcción de las obras.

En el caso que se cita como ejemplo en el numeral 5, el costo de mano de obra y los aportes de la comunidad pueden llegar a ser el 20% del costo total del proyecto.

Si la mano de obra no es aportada por la misma comunidad, sino que proviene de otra región del país, el costo (como porcentaje del total) se eleva, con el agravante de que debe ser pagado en efectivo por los habitantes de la población. Este puede llegar a ser, en un

momento dado, un verdadero cuello de botella,

#### 4.5.2 Factores que afectan significativamente el costo de las mini y micro-centrales.

A continuación se consideran algunos elementos que en la actualidad son los responsables del costo tan elevado que presenta el desarrollo de la micro-generación en Colombia.

##### 4.5.2.1 Sedimentadores: Ya en el numeral 3 se describió cuál es su función dentro de una micro-central. Pues bien, se encuentra que generalmente son muy pocos los sedimentadores que funcionan bien. Puede ser por falta de desarrollo de tecnología en este campo, o por una aplicación errónea de la misma.

De acuerdo con las características del agua, el costo de un sedimentador puede ser tan alto como el de una presa. De modo que en condiciones especiales puede llegar a encarecer los costos de un proyecto.

En el mismo sentido, pueden ser cuellos de botella: la falta de educación en lo referente a la conservación y cuidados de las hoyas hidrográficas con el objeto de evitar la erosión y el uso de sedimentadores más costosos.

#### 4.5.2.2 Tuberías

Todos los elementos requeridos para canalización de aguas y conducción a presión pueden ser adquiridos en el país. Sin embargo, su costo puede llegar a ser significativo.

- En instalaciones con caídas altas (para turbinas Pelton), en las que puede llegarse a requerir de grandes longitudes de tubería resistente a las presiones altas.
- En instalaciones de bajas caídas y caudales grandes (turbinas axiales) la necesidad de construir represa y llevar grandes volúmenes de agua a la turbina puede incidir fuertemente los costos de una instalación.

#### 4.5.2.3 Generadores, dinámos y alternadores

Ya se ha mostrado en la tabla correspondiente (Tabla 4.2) cuáles son los precios para los generadores requeridos en las mini-centrales de baja capacidad.

Los precios tan elevados se explican en parte si se toman en cuenta los aranceles que rigen la importación de estos artículos. De acuerdo con el "Nuevo Arancel de

Aduanas de Colombia", de Legis Editores S.A., los aranceles son:

- Para Generadores:
 

hasta 0.5 kilovatios	60%	(Resol. 028 Mzo. 7/78)
De 0.5 a 100 kilovatios	50%	(Resol. 028 Mzo. 7/78)
De 100 kilovatios en adelante	5%	(Decreto 2723 de Nov. 30/77)
  
- Para Dinamos y Alternadores
 

hasta 0.5 kilovatios	60%
de 0.5 a 100 kilovatios	50%
más de 100 kilovatios	40%

#### 4.5.3 Fuentes de financiación

En la actualidad la mayoría de los proyectos tiene condicionada su ejecución a donaciones o préstamos de entidades extranjeras. Si hay un interés real del gobierno y la empresa privada por promover este tipo de solución en los lugares apartados, es necesario que los aportes que casi siempre están dispuestos a dar las comunidades en los trabajos de construcción, operación y mantenimiento, se vean complementadas con la creación de un Fondo de Crédito para el Desarrollo de Mini-Centrales.

A este fondo aportarían las entidades oficiales, la empresa privada y las organizaciones extranjeras interesadas. También en este sentido se podrían orientar parte de las ayudas que de Gobierno a Gobierno están establecidas en la actualidad.



TABLA 4.1 COSTO UNITARIO DE MICRO Y MINI-CENTRALES

<u>Instalación</u>	<u>Capacidad(Kw)</u>	<u>Caída (m)</u>	<u>Costo Unitario (2)</u>
Kingston Mills, Ontario	500	12.2	6.3
Río Bueno, Jamaica.	2600	62.5	5.0
Interlakes, Alberta.	4800	29.9	2.4
Cape Broyle, Newfoundland	5600	53.4	4.2
Sandy Brook, Newfoundland	5900	33.5	5.4
Naggoty, Jamaica	6200	88.4	4.1
Horsechops, Newfoundland	7400	84.1	7.8
Mobile, Newfoundland	9600	112.8	5.7
Mayo, Y-ukon(1)	2600	33.5	25.0
Snare Rapids, North West Territories(1)	6200	17.7	12.1
Snare Falls, N.W. Territories(1)	6800	19.2	10.2
Waterloo, Saskatchewan	8200	21.3	6.7
Nuevo Ocotepegue y Sinuapa(3)	100	130.0	3.5
San Marcos de Ocotepeque(3)	300	25.0	3.3
Encarnación, Ocotepeque(3)	100	30.0	3.7
Arandique, Lempira(3)	135	90.0	5.5
Candelaria, Lempira(3)	24	8.0	2.7
Mapulaca, Lempira(3)	50	20.0	7.8
Cololaca, Lempira(3)	37.5	35.0	9.6
Santa Rita y Cabañas, Lempira(3)	200	170.0	4.9
Araracuara, Amazonas(1), (4)	12	15	21.9
Panguí, Chocó(1), (5)	42.5	80	5.1
San Felipe, Caldas(6)	3	42	2.9

- 
- (1) Costos para lugares apartados, incluyen mano de obra.
  - (2) Expresado como un múltiplo de patrón unitario de costos, como se definió en 4.1
  - (3) En estudio en Honduras. Todas a filo de agua.
  - (4) Por construir, con presa. Mano de obra no es local en parte.
  - (5) Por construir. Turbina colombiana, regulador extranjero.
  - (6) Ya existe la represa, no hay transmisión. Por ser zona cafetera, el costo de mano de obra depende de la temporada en que se construya.

TABLA 4.2 PRECIOS DE GENERADORES ELECTRICOS+

A) MONOFASICOS: 110/220 voltios; 60 Hz, 1800 RPM.

POTENCIA (KVA)	PRECIO		PRECIO/KVA	
	\$COL.	DLS.¹	\$COL.	DLS.¹
2.5	62.500	1383	25.000	555
3.5	71.500	1589	20.429	454
3.75	72.600	1613	19.360	430
4.0	75.130	1669	18.783	417
4.5	79.090	1758	17.576	391
5.0	82.500	1833	16.500	367
6.0	90.970	2022	15.162	337
7.5	95.480	2122	12.731	283
25.0				

B. TRIFASICOS: 110/220 voltios; 60 Hz, 1800 RPM

12.0	111.650	2481	9.304	207
12.5	112.640	2503	9.011	200
15.0	116.050	2579	7.737	172
17.5	126.830	2818	7.247	161
18.0	128.700	2860	7.150	159
20.0	131.120	2914	6.556	146
25.0	150.040	3334	6.001	133
27.5	157.520	3500	5.728	127
36.0	180.950	4021	5.026	112
42.5	213.070	4735	5.013	111
50.0	233.090	5180	4.661	104
55.0	242.000	5378	4.400	98
62.5	259.270	5762	4.148	92
70.0	271.920	6043	3.884	86
75.0	294.690	6549	3.929	87

+ Marca Brush, precios de venta al público, de Oct. 11/79.  
No se incluye impuesto de ventas.

¹ Se considera el cambio monetario a 45 pesos/dólar.

TABLA 4.3 PRECIOS DE TRANSFORMADORES COLOMBIANOS+

A. MONOFASICOS: 13.2kV: 120/240

<u>POTENCIA(KVA)</u>	<u>PRECIO</u>		<u>PRECIO/KVA</u>	
	<u>\$Col.</u>	<u>Dls.</u>	<u>\$Col.</u>	<u>Dls.</u>
10	35.211	782	3521	78
15	38.808	862	2587	57
25	49.048	1067	1923	43

B. TRIFASICOS: 13.2kV: 120/240

15	70.000	1555	4666	104
30	80.000	1773	2666	59
45	102.400	2276	2275	51
75	119.922	2665	1599	36
112.5	153.758	3523	1412	31
150	182.603	4058	1217	27

+) Precios de venta al público. No incluyen impuesto a las ventas. Octubre 23/79.

') Los precios en Dls. han sido calculados con un cambio de 45 pesos/dólar.

TABLA 4.4 Precios de controles electrónicos de carga  
producidos por Childs & Associates, P.O. Box  
311; Maple Falls, WA 98266

<u>Modelo</u>	<u>Capacidad</u>	<u>Tipo</u>	<u>Precio U.S.</u>	<u>Precio/kilovatio</u>
25 A	2500 vatios, 120 V	Plug-in	265.20	106.
		Wire-in	278.80	111.5
25 AH	5000 vatios, 220 V.	Plug-in	295.80	59.2
		Wire-in	311.10	62.2
50 A	5000 vatios, 120 V.	Wire-in	329.80	66.0
50 AH	10000 vatios, 220 V.	Wire-in	375.70	37.6
100 A	10000 vatios, 120 V.	Wire-in	396.10	39.6
100 AH	20000 vatios, 220 V.	Wire-in	423.30	21.2

Esta empresa puede construir controles de mayor capacidad, monofásicos y trifásicos, por encargo. Todos son precios FOB.

TABLA 4.5 PRECIOS DE UNIDADES GENERADORAS LEROY-SOMER

Los siguientes son los precios FOB, material sin embalar, de las unidades generadoras fabricadas por Leroy-Somer, para caídas bajas. Los precios corresponden a julio de 1978. Para convertir a pesos colombianos se empleó el cambio vigente en octubre 16 de 1979 (1 F.F. igual a 9.44 \$ col.) Para el valor en dólares se usa cambio de 45 pesos por dólar.

A. Caídas entre 2.25 y 4.5 metros. Caudales entre 265 y 360 litros por segundo.

Potencia (kW)	Precio		Precio/KW	
	\$Col.	Dls.	\$Col.	Dls.
1.8	420.910	9.354	233.839	5196
3.2	420.010	9.354	131.534	2923
3.8	425.158	9.448	111.883	2486
4.4	447.342	9.941	101.668	2259
5.0	447.342	9.941	89.468	1988
5.7	455.838	10.130	79.971	1777
6.3	465.278	10.340	73.853	1641
6.8	465.278	10.340	68.423	1520
7.4	470.942	10.465	63.641	1414
8.0	490.408	10.900	61.301	1362

B. Caídas entre 2.5 y 4.75 mts. y caudales entre 440 y 1000 lt./seg.

9.2	517.434	11500	56.243	1250
10.6	519.794	11550	49.037	1090
12.5	579.974	12890-	46.397	1031
13.2	579.974	12890	43.937	976
15.5	579.974	12890	37.417	831
17.4	595.900	13242	34.247	761
19.7	624.814	13885	31.716	705
21.6	628.354	13963	29.090	646
23.4	633.074	14068	27.054	601
25.8	699.654	14881	25.955	576

C. Caídas entre 1 y 2.5 mts., caudales entre 1840 y 2470 lts/seg.

28.5	847.240	18828	29.727	661
30.8	853.140	18960	27.699	616
35.7	953.440	21188	26.707	593

TABLA 4.6. LISTA DE PRECIOS - ALASKA WIND AND WATER  
POWER CO.

Los equipos ofrecidos por esta compañía sirven para genera-  
ción D. C.

A. RUEDAS PELTON FUNDIDAS.

	Aluminio	Bronce
4 y 1/2" de diámetro . . . . .	\$125	\$250
9" de diámetro . . . . .	\$150	\$300
18", montada en eje de 1 y 15/16", para 15 HP . . . . .	\$450	

B. TURBINA Y EQUIPOS MECANICOS.

4 y 1/2" con cuatro boquillas y placa para montaje del alternador	\$500	\$625
Rueda de 9" con eje de 1" y roda- mientos . . . . .	\$750	
Rueda de 9" con eje de 1 y 3/16" y rodamientos . . . . .		\$1.250
Dos ruedas de 9" con eje de 1 y 3/16" y rodamientos . . . . .	\$1.000	
Dos ruedas de 9" con eje de 1 y 7/16" y rodamientos . . . . .		\$1.500
Planta hidroeléctrica Pelton de 15.000 vatios . . . . .	Precio desde	\$6.000

C. ALTERNADORES.

Alternador Maremont Electrodyne 100 amp y 12 voltios. Incluye Regulador de vol- taje de estado sólido . . . . .		\$350
Alternador Natural Power, de 120 voltios D. C. y 1500 vatios . . . . .		\$400

5.0

## MINI-CENTRAL HIDROELECTRICA DE PANGUI: PROYECTO PILOTO.

Para presentar el proyecto piloto se parte de la experiencia profesional de los autores en las distintas áreas rurales colombianas. A través de esta experiencia se han conocido las "posibilidades" de realización de muchos y variados tipos de obras, y se ha visto que para que estas puedan hacerse realidad, los factores que más influyen son el económico, el tecnológico y el humano. Tanto el primero como el tercero ya fueron considerados en la sección denominada "Cuellos de Botella".

Por factor económico se entiende la disponibilidad del dinero necesario para iniciar y terminar una obra satisfactoriamente. Por factor humano se entiende el aporte directo en mano de obra que hace la comunidad a la cual va a prestar servicio la obra. El tercer factor, el tecnológico, sería el conocimiento de las técnicas y procedimientos para realizar una determinada obra.

Con la selección del proyecto piloto se quiere demostrar que en Colombia ya es posible la ejecución de proyectos similares al propuesto, empleando materiales y recursos tecnológicos y humanos disponibles en nuestro medio. Como los procesos tecnológicos son evolutivos, se considera que la experiencia de Panguí será útil, tanto a nivel nacional, como a nivel

internacional para las zonas latinoamericanas más cercanas.

Los autores han observado que el factor económico es un condicionante temporal, pero no definitivo. En cambio, el factor humano (gente organizada, disciplinada y cooperada) es un elemento decisivo no solamente para la terminación satisfactoria de las obras, sino especialmente para su posterior operación y mantenimiento.

Se pasa a mostrar cómo surgió la idea. Se hace luego una breve descripción de la gente de la zona y, finalmente, se anotan las características técnicas y económicas del proyecto.

#### 5.1. ORIGEN DE LA IDEA.

Desde hace ya un par de años, el CINDE (Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano) viene desarrollando en cuatro poblaciones de la costa pacífica colombiana, en el Chocó, el Programa para el Mejoramiento de la Educación, la Salud y el Ambiente (PROMESA) enfocado al sano desarrollo de los niños. Este programa está financiado por la Fundación Bernard Van Leer de Holanda. La población de Panguí es una de las cuatro poblaciones mencionadas arriba.

El programa se fundamenta en la educación de los padres de familia quienes, aprendiendo a utilizar juguetes y juegos

educativos, se constituyen en maestros de sus hijos en el hogar. Esto es punto de partida para lograr, a través de otras actividades, el mejoramiento del ambiente de la comunidad en la cual viven los niños.

Es todo este trabajo que CINDE ha realizado lo que hace que el proyecto no sea algo así como un salto mortal. La construcción de la mini-central está enmarcada dentro de un proceso iniciado hace ya un par de años.

El bajo nivel de ingresos de la población, \$1.500.00 en promedio por familia, la carencia de fuentes de empleo, el aislamiento de la zona por falta de medios de comunicación y las deficientes condiciones de salubridad ha llevado - en el caso de Panguí- a plantear la urgencia de desarrollar otras actividades a nivel individual y comunitario que respondan a necesidades nuevas surgidas en la comunidad.

El contacto de los autores con CINDE y con las cuatro poblaciones que cubre PROMESA se enmarca dentro de esta respuesta a necesidades nuevas, surgidas en este caso en la comunidad del Valle (Departamento del Chocó). En este sitio se están instalando dos unidades Pelton (v. sección 3.1.2.1.) para cargar baterías de carro. Estas prestan servicio a los centros de diagnóstico de malaria. (Ver fotografías 5.1 y 5.2)

Pues bien, la gente de Panguí viene, desde hace muchos años,

buscando la instalación de energía eléctrica para las 90 familias que conforman la población. Antes de conseguir la planta generadora de energía (sin pensar en que fuera Diesel o hidráulica) construyeron la red de alumbrado. Ahora, la población de Nuquí les ha regalado una planta Diesel de 20 kW, y dentro del Plan de Electrificación del Chocó se contempla la instalación de una planta Diesel para generación de 50 kW (14).

El problema que afronta la población es el siguiente: no tienen dinero para el consumo de combustible. Vivirán entonces el problema que actualmente tiene la población de Bahía Solano (Puerto Mutis): una instalación de 315 kW (planta Diesel) que llegó a funcionar durante unas pocas semanas a partir de la inauguración (hace tres años). ¡Se terminó el dinero para el combustible!

Aprovechando la presencia de uno de los autores en la zona (para la instalación de los cargadores de baterías), los pobladores de Panguí lo invitaron para estudiar la posibilidad de aprovechar el caudal de dos quebradas que presentan una caída bastante grande. Querían que se les presentara un presupuesto correspondiente al costo total de la obra, sin incluir mano de obra, ya que sería aportada por ellos. Con base en este presupuesto ellos están adelantando las diligencias necesarias para lograr la financiación de la obra.

Con la colaboración de una "Comisión" designada por los habitantes de Panguí, se efectuaron las mediciones mínimas necesarias para poder hacer el estudio y diseño preliminares. Con estos se obtuvo la cotización y plano que se adjuntan en el Anexo No. 5.

## 5.2. BREVE DESCRIPCION DEL GRUPO HUMANO DE PANGUI.

Aunque en la referencia (15) se describe íntegramente cómo es Panguí y su gente, se quiere recalcar que esta, en algunos aspectos, puede ser considerada como típica de muchas regiones apartadas de nuestro país. Están aislados geográficamente, y prácticamente incomunicados de los centros de desarrollo del país.

No se trata de gente oprimida por la frustración creciente que sí vive la gente pobre de las ciudades. No es gente insegura, ni neurótica. Se trata de gente con un sentido de cooperación bastante elevado. El poder ejecutar una obra que la comunidad considere importante es capaz de originar la organización y disciplina indispensable para su ejecución. Esto quedó ampliamente demostrado con la construcción del acueducto que en la actualidad abastece de agua potable a la población. (v. anexo 5, plano No. 1)

### 5.3. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PROYECTO.

En el plano 5.1. se indica la localización, tanto de la población de Panguí, como de los diferentes componentes del proyecto. Los nombres empleados para designar las quebradas y demás puntos son los usados por los habitantes de la zona.

De acuerdo con las mediciones realizadas sobre el terreno, es posible generar cerca de 40 kilovatios, aprovechando un caudal de 90 litros por segundo aproximadamente. Este es suministrado por las quebradas de Virgilio y Edelmira. El desarrollo aprovecharía una cabeza bruta de 85 metros, aprox.

De esta manera, mediante obra de toma y turbina Pelton se puede generar la potencia anotada arriba, a una distancia de 5 kilómetros del poblado.

#### 5.3.1. Obra de Toma.

Localizada en el punto B, sobre la quebrada Virgilio. Por las características que presenta la topografía, es una obra pequeña; para la fecha en que fue presentada la cotización -Agosto 25 de 1979- el costo de la obra de toma era de 80.000 pesos, lo que representa el 2.5% del costo total (\$3.200.000).

### 5.3.2 Tubería de carga

Debido a que la montaña por la cual bajan las quebradas aforadas es bastante pendiente, la longitud de la tubería de carga es de solo 320 metros. Aprovechando la experiencia de la construcción del acueducto, en cuya construcción se empleó tubería PVC - unión Z, parece también la más adecuada para la construcción de la minicentral. De acuerdo con las notas de cálculo, la tubería que se empleará es tubería PVC, unión Z, RDE-26, de 8". Incluyendo uniones, codos y anclajes, su valor es de \$520.600 (16.3% del costo total).

### 5.3.3 Casa de máquinas

Localizada en el punto D, plano 5.1, tiene una superficie de 30 metros cuadrados, y en ella se encuentra la unidad Pelton que mueve un generador trifásico de 42.5 KVA. Su costo asciende a \$20.000 (2.5% del costo total).

### 5.3.4 Equipos eléctricos

En estos se incluyen: un generador trifásico marca Brush, de 42.5 KVA y 1800 RPM, un transformador trifásico de 50 KVA, línea de transmisión para 5 Km. usando cable tipo ACSR 04, pararrayos para protección de Casa

de Máquinas y tablero de conexiones. Todo esto por un valor de \$510.000 (16%).

5.3.5 Equipos mecánicos

Incluyendo en ellos turbina Pelton de bronce, equipo de regulación y control (importado), transmisión y válvulas: \$419.200 (13.1% del total). (Ver anexo 5, hojas 6 y 7).

5.3.6 Diseño de la obra y planos.

Incluyendo topografía, trazados y localización de puntos, su valor es de \$411.000 (12.8%)

5.3.7 Dirección y supervisión del montaje y construcción

Son \$120.000 (3.7%)

5.3.8 Mano de obra, transporte y postes.

Que son aportados por la comunidad de Panguí, tienen un valor de \$739.200 (23.1%)

5.3.9 Imprevistos

Corresponden al 10% del costo total de la obra, esto es \$320.000.

En el anexo 5, hoja 5 se da un presupuesto pormenorizado de los elementos anteriormente descritos.

#### 5.4 JUSTIFICACION DE LA OBRA Y FINANCIACION

Tanto en el caso de Panguí como en el de poblaciones similares, el desarrollo de minicentrales se justifica siempre que se disponga del recurso hidráulico.

Algunas de las razones son las siguientes:

- 5.4.1 Se comprobó en el numeral 4 a modo de ejemplo, que aunque la inversión inicial es más elevada en la construcción de la instalación hidráulica que en el empleo de plantas Diesel, los costos de los combustibles en lugares apartados hacen que sea siempre atractivo el desarrollo de las minicentrales hidráulicas. En los lugares en que ya exista la instalación Diesel -como en el caso de Panguí- esta se puede tener como planta de reserva.
- 5.4.2 La sola posibilidad de que el proyecto sea educativo y en parte reproducible hace necesario que se intente su realización.
- 5.4.3 La realización del proyecto tendrá una incidencia importante en lo concerniente al desarrollo de las zonas vecinas. La gente entiende y manifiesta que este es

un paso para superar las condiciones actuales de atraso y pobreza. Para ellos, hablar de Desarrollo Regional tiene un sentido muy claro. Por el contrario, su sentido de pertenencia a un gran país -Colombia- se ha ido perdiendo.

5.4.4 La realización de la obra a corto plazo solo se ve posible en el caso de que hubiese alguna entidad -extranjera seguramente- dispuesta a financiar la construcción.

Si esta no aparece, los habitantes de Panguí están dispuestos a demorarse un poco más (ya han esperado bastante) y ejecutarla de todas maneras.

Aunque para el caso de Panguí es muy posible que la financiación provenga de una entidad internacional que ya se ha interesado en su desarrollo, los autores consideran que para que esta experiencia que de por sí es educativa, también pueda llegar a ser reproducible de hecho, es necesario que para obras similares las fuentes de financiación provengan de los grupos económicos más pudientes del país.

Para que esto suceda, necesariamente debe iniciarse un proceso que lleve a cambiar los condicionamientos económicos y políticos que en la actualidad impiden la ejecución de proyectos similares al propuesto.

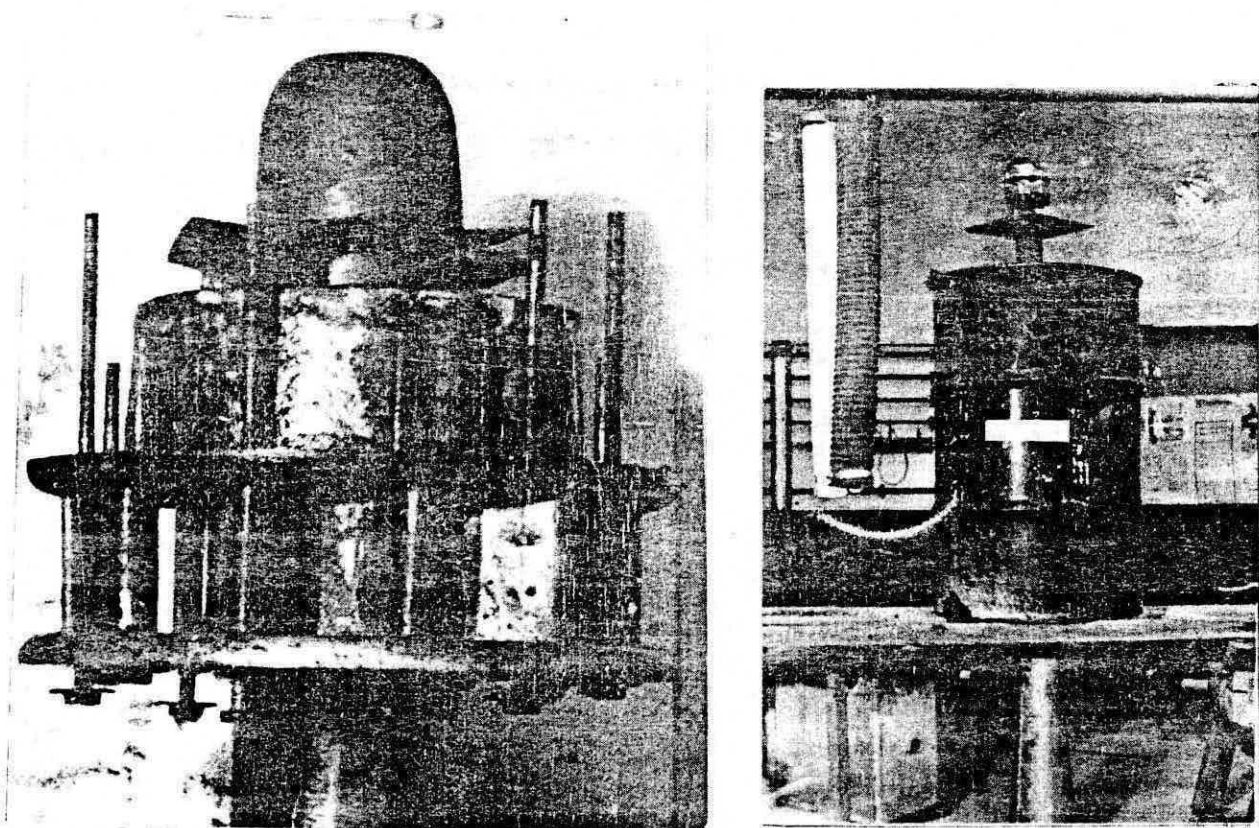


FOTO 5.1. Equipo para cargar baterías

Fabricado en Colombia por C. CH. LG. Cía Ltda.

Referencia No. A-360-122

Turbina fabricada en Acero forjado.

Eficiencia de la turbina: 65%

Alternador de 12 voltios y 38 amps.

Eficiencia del alternador: 60%

Caída mínima necesaria: 2.00 mts.

Caudal nominal: 24 litros por segundo.

Potencia Nominal: 240 vatios.

Precio FOB, sin embalaje: \$38.200.00 (Septiembre de 19

Dentro de este precio se incluye:

batería de 90 amps-hora, instalación completa para una casa (alambrado, interruptores y 8 bombillos de 25 vatios cada uno), densímetro para medición del estado de

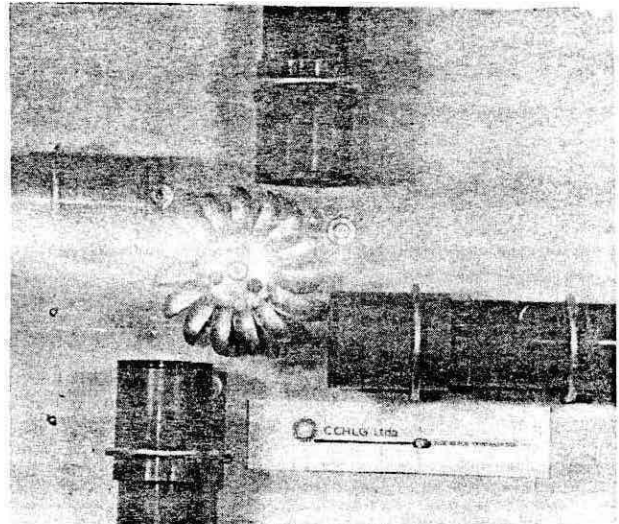
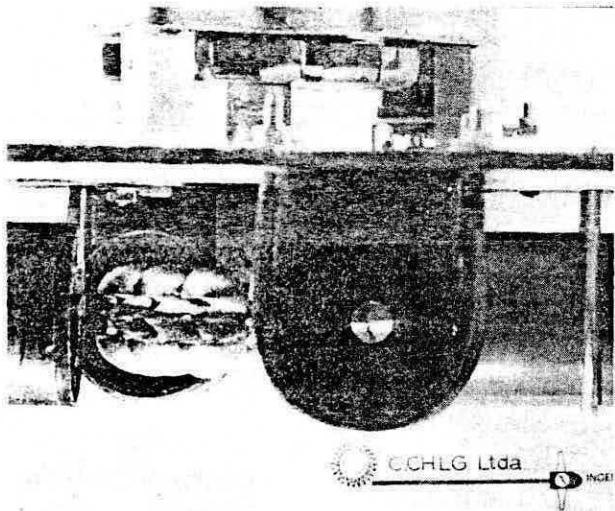


FOTO 5.2 Equipo para cargar baterías.

Fabricado por: C. CH. LG. Cía. Ltda.

Referencia No.: P-775-130

Turbina fabricada en aluminio o bronce.

Eficiencia de la turbina: 73%

Alternador Marchal, 12 voltios y 38 amperios.

Eficiencia del alternador: 60%

Cabeza mínima necesaria: 5 metros.

Caudal mínimo necesario: 7 litros por segundo.

Potencia nominal mínima: 160 vatios.

Precio FOB, sin embalaje: \$33.000 (Septiembre de 1979)

Dentro de este precio se incluye: Batería de 90 amp-hr,

carga de la batería, manual de operación e instrucciones para su montaje.

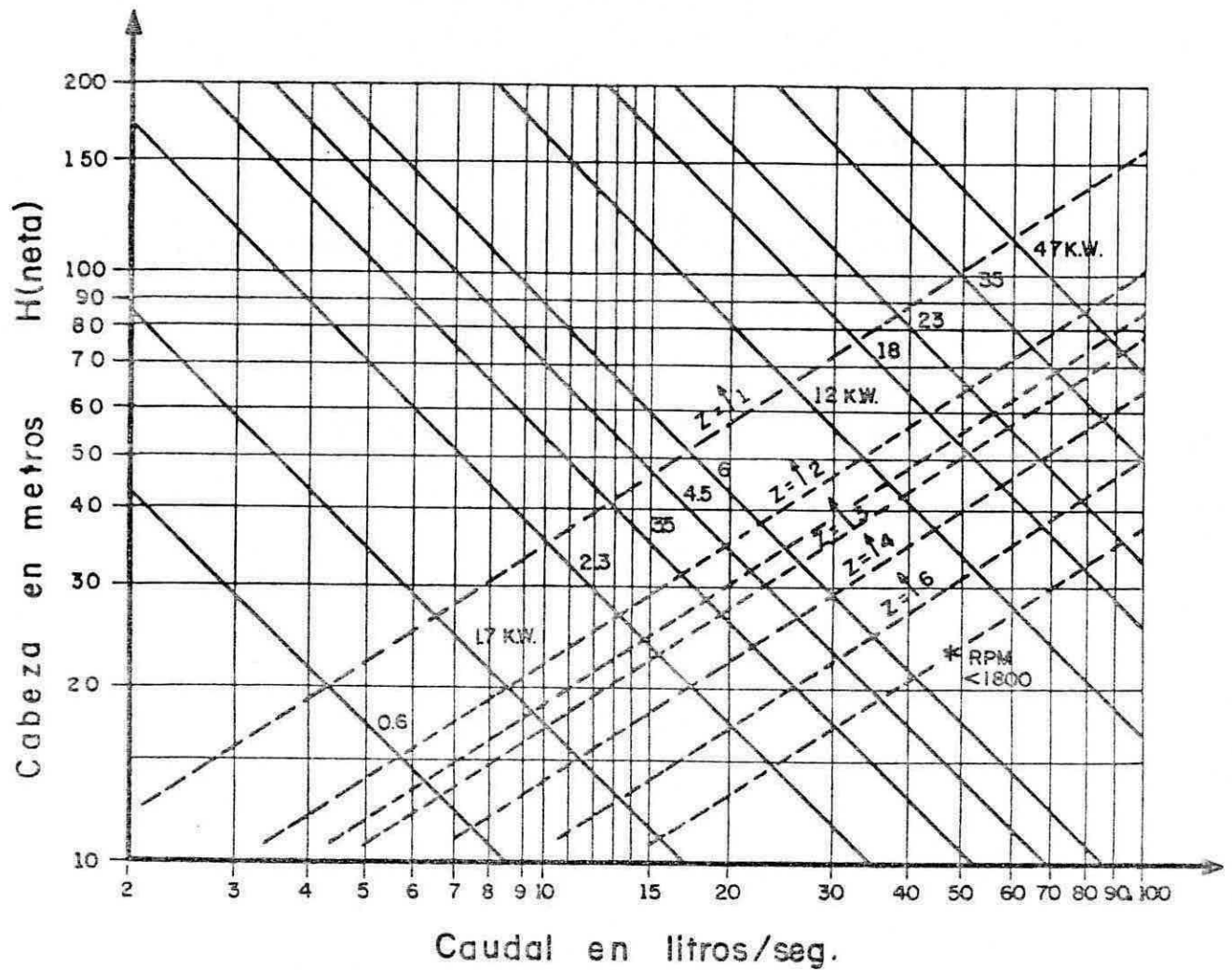
El equipo puede ir instalado a la intemperie.

instalación completa para una casa (alambrado, interruptores y 8 bombillos de 25 vatios cada uno), densímetro para medición del estado de carga de la batería, y manual de operación.

MINICENTRAL DE PANGUI - PRESUPUESTO GLOBAL.

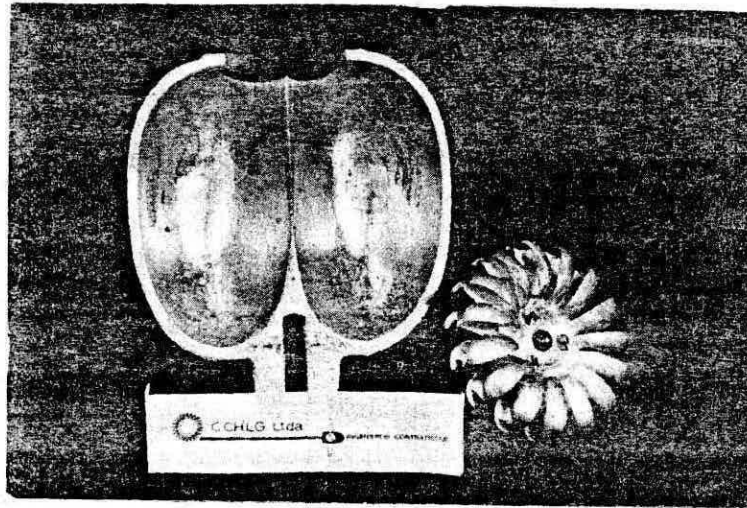
A. Estudio, planos y montaje	
Topografía: Localización de puntos.	\$20.000
Diseño de la obra y planos de taller.	391.000
Montaje: Supervisión y coordinación.	120.000
B. Equipos eléctricos	
Generador trifásico, 42.5KVA 1800 RPM, marca Brush.	205.000
Transformador trifásico de 50KVA (Cant = 1).	90.000
Línea de transmisión: conductor ACSR 04.	193.000
Pararrayos para protección de Casa de Máquinas.	15.000
Tablero de conexiones.	7.000
C. Tubería y equipos mecánicos	
Obras de toma.	80.000
Tubería de carga, unión Z, tubos PVC 8", 320 mts. incluyendo uniones y codos.	479.000
Anclajes de concreto.	41.600
Turbina Pelton de bronce, 30 cm. de diámetro.	152.000
Boquillas para chorros	8.000
Chumaceras y transmisión.	25.000
Válvula de bronce localizada en Casa de Máquinas.	13.500
Casa de Máquinas.	80.000
Equipo de regulación y control (Importado).	230.700
D. Mano de obra, transportes y postes para la línea de transmisión.	
	739.200
E. Imprevistos (10%)	
	<u>320.000</u>
TOTAL COTIZADO	\$3.200.000

## DIAGRAMA PARA LA SELECCION DE TURBINAS PELTON FABRICADAS POR C.CH.LG. Ltda.



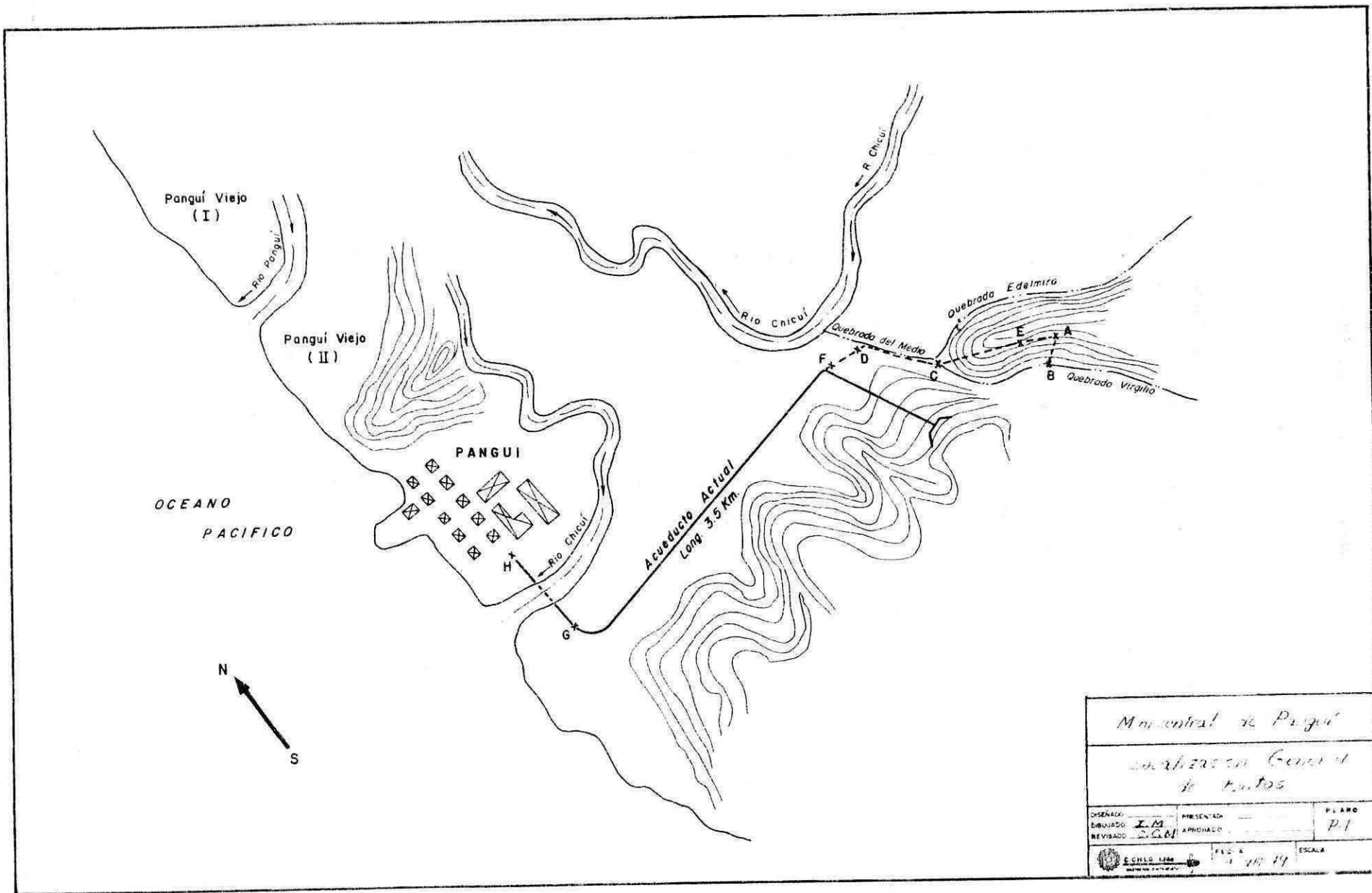
NOTAS:

- La cabeza en metros se refiere a cabeza neta en el chorro.
- Se garantizan eficiencias superiores al 70%.
- Z = Número de chorros.



En la fotografía pueden observarse los dos límites de las turbinas que actualmente fabrica C. CH. LG. Limitada en Colombia.

Por un lado, la rueda de 130 mm. (diámetro externo) puede producir desde 240 vatios. Con el cangilón grande se puede ensamblar una rueda que produzca 50 kilovatios.



Monumental de Panguí		
Análisis en Caudal de Puntos		
DISEÑADO	PRESENTADO	PLANO
DIBUJADO I.M.	APROBADO	P.I.
REVISADO S.G.M.		
E. CHILE 1988		ESCALA
FIC. A		
1/1000		

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se señalan a continuación las conclusiones y recomendaciones del presente estudio. Aunque algunas se han expuesto a lo largo del trabajo ha parecido importante dedicarles una sección, de modo que reciban mayor atención por parte del lector.

### 6.1 Se debe promover la creación de un Fondo Nacional ó Departamental que pueda brindar amplias facilidades de crédito para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, ya sea para la producción de energía eléctrica o para suplir la demanda energética de la agroindustria.

Los créditos se otorgarán prioritariamente a aquellas comunidades o empresas comunitarias agroindustriales que cuenten con un nivel de organización y cooperación que aseguren un aporte realmente valioso, del modo como se ha expuesto a lo largo de este informe.

El organismo representativo de la comunidad -propietaria de la instalación- podrá amortizar la deuda con base en la recolección de las tarifas que fije para el consumo de la energía eléctrica.

En el caso de la agroindustria, la producción misma servirá para pagar prontamente la inversión.

6.2 Una medida complementaria, y que reduciría de modo considerable los costos de la unidad generadora para capacidades inferiores a 100 kilovatios, sería la eliminación o disminución de los aranceles aduaneros que están en vigencia. Esto debería hacerse, al menos, mientras no existan en Colombia fábricas de generadores con las características requeridas.

Así mismo, para otros equipos importados deberían fijarse aranceles diferenciales, cuyo valor esté de acuerdo con la eficiencia del equipo. Debe promoverse el empleo de equipos eficientes de modo que pueda recuperarse prontamente la elevada inversión inicial que supone una obra hidroeléctrica.

6.3 Siempre que haya agua disponible y permanente debe evitarse el empleo de combustibles. Esta afirmación se refuerza si entran en consideración factores tales como tasas de inflación y las alzas progresivas en los precios de los combustibles derivados del petróleo.

El problema de la inflación no es nuevo, pero se agrava en los últimos años por el aumento de la demanda de recursos tales como el petróleo, el carbón y el gas. El efecto de la inflación se refleja en las comparaciones que pueden hacerse entre las plantas térmicas y las hidráulicas, al usar la relación beneficio-costos.

6.4 En todos aquellos procesos de la agroindustria en que se demande calor debe recurrirse al empleo de los desechos de la misma agroindustria como fuente calórica y no a la electricidad.

De recurrir a la electricidad, se estará prácticamente desperdiciando la energía.

6.5 Debe promoverse el empleo de plantas hidráulicas para el suministro de la energía mecánica que demande la agroindustria. Para ello, se debe localizar la agroindustria lo más cercanamente posible a la fuente energética y a partir de esta localización, desarrollar la agroindustria.

6.6 En Colombia no se están empleando las microtermoeléctricas de vapor. No hay plantas de este tipo en el mercado. Deben iniciarse las investigaciones tendientes a promover su desarrollo en nuestro país.

6.7 Una vez desarrolladas las plantas microtermoeléctricas de vapor, la evaluación económica de las minicentrales hidráulicas se haría contra estas y no contra las plantas Diesel.

6.8 Deben ser estudiados y promovidos los mecanismos mediante los cuales se puedan formar los Ingenieros y Técnicos que se encargarán de la ejecución de estas obras.

6.9 Para la construcción de minicentrales de menos de 100 kilovatios no se justifica todo el procedimiento que se sigue actualmente para la contratación de las grandes Centrales hidroeléctricas.

Es más, debería revisarse si con los precios actuales de materiales y demás recursos, siguen siendo válidos los valores límites que definen cuándo debe abrirse licitación privada o pública.

Una vez seleccionado un sitio para el desarrollo de una minicentral cuya capacidad instalada sea menor de 100 kilovatios, los estudios, diseños, construcción y montaje deberían darse a la misma firma.

NOTAS

1. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, "Atlas de Colombia", Bogotá, 1977, Tercera Edición, Revisada y aumentada.
2. ICEL, "Informe sobre el sector energía", XIII Congreso Nacional de Ingeniería, Armenia, Septiembre de 1976.
3. The Ecologist: "A blueprint for survival", Vol. 2, No. 1, Penguin Books Ltd., Harmondsworth, 1972.
4. Dussan Canals, Benjamín, "Beneficio cafetero y Planta Eléctrica Misiones", Anales de Ingeniería. Vol. 13, mayo 1 de 1906, P. 328.
5. Kingan, S.G.: "Small power plants for isolated areas". Scientific Research Division, Rarotonga, Islas Cook, 1975.
6. Usmani, U.H., "Standard energy packages for the rural areas of the world". Seminario Internacional sobre la situación energética colombiana y el contexto internacional. Universidad de Los Andes, Bogotá, Octubre de 1979.
7. Tecnelec, Apartado Aéreo 10396, Cali, Colombia.
8. Fernández, María Victoria, "Utilización de la cascavilla de arroz como combustible", Universidad de

los Andes, Facultad de Ingeniería, Bogotá, junio de 1979,

9. Dynaterm de Bogotá, Ltda., Ingeniería Térmica, Calle 9 No. 36-61, Bogotá.
10. "El país tiene potencial de 91 millones de kilovatios", P. 6-B de El Tiempo, Octubre 28 de 1978.
11. Faral Limitada - Calle 22C No. 31-60, Bogotá.
12. Schumacher, E.F., "Small is beautiful", The Anchor Press Ltd., Tiptree, Essex, 1973, p. 183. El dato de 9.0 millones es reemplazado del original.
13. Gordon, J.L., "Small hydro sets can yield competitive energy", publicado en "Energy International" de Agosto de 1978.
14. "Red Eléctrica de Panguí (Dpto. del Chocó)", ICEL, Documento DACE No. 7840, Bogotá, Octubre de 1978.
15. Crespo, Virgilio, "Breve monografía de Panguí", Programa para el Mejoramiento de la educación, la salud y el ambiente, Medellín, Octubre de 1979.
16. "Planning Report on La Esperanza hydro power improvement project", prepared by Power Technical Mission, Republic of China, Tegucigalpa, Honduras, Mayo de 1979.

**Biblioteca Agropecuaria  
de Colombia - BAC**



**010100013660**