

Manuales sobre
energía renovable

HIDRÁULICA a pequeña escala



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



FOCER

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central

621.47
M2946m

Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a
pequeña escala / Biomass Users Network (BUN-CA).
1 ed. - San José, C.R. : Biomass Users Network
(BUN-CA), 2002.
42 p. il. ; 28x22 cm.

ISBN: 9968-9708-8-3

1. Energía Renovable. 2. Energía Hidráulica. - 3. Recursos
Energéticos- América Central. 4. Conservación de la Energía.
5. Desarrollo Sostenible. I. Título.

Hecho el depósito de Ley. Reservados todos los derechos.

©Copyright 2002, BUN-CA, Setiembre del 2002

1ª edición
San José, Costa Rica

Este Manual puede ser utilizado para propósitos no-comerciales con el debido reconocimiento al autor.

Esta publicación ha sido posible gracias a la asistencia financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el marco del Programa Operacional #6 del Área Temática de Cambio Climático del GEF. Las opiniones expresadas en este documento son del autor y no necesariamente reflejan el parecer del Fondo para el Medio Ambiente Mundial o del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

HIDRÁULICA a pequeña escala

Manual sobre energía renovable

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central



Indice

Tabla de simbología	2
1. Introducción	3
2. ¿Qué es la energía hidráulica	4
2.1 Energía hidráulica e hidroeléctrica	4
2.2 Tipos de centrales hidroeléctricas	5
3. Funcionamiento de la tecnología	7
3.1 Ciclo hidrológico	7
3.2 Componentes de un sistema hidroeléctrico	8
4. Aplicaciones	11
4.1 Sistemas domésticos individuales	11
4.2 Micro y mini - hidro para usos productivos y mini redes comunales	12
4.3 Conexión a la red eléctrica interconectada	13
5. Costos	15
5.1 Estimación de costos	15
5.2 Aspectos a considerar para centrales conectadas a la red	16
6. Aspectos ambientales	17
7. Ventajas y desventajas	19
7.1 Ventajas	19
7.2 Desventajas	19
8. Experiencias en América Central	20
8.1 Potencial	20
8.2 Barreras	21
Anexos	23
Anexo 1. Publicaciones y sitios web recomendados	24
Anexo 2. Consultores y suplidores de equipo	26
Anexo 3. Conceptos básicos de energía	29
Anexo 4. Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica	35





Tabla de Simbología

A	Amperio	kWh	Kilovatio hora
CA	Corriente alterna	kWh/m ²	Kilovatio hora por metro cuadrado
Ah	Amperio-hora	LPG	Gas de petróleo líquido
B/N	Blanco y negro	lts	Litros
Btu	Unidad térmica Británica (1 Btu = 1055.06 J)	M	Mega (10 ⁶)
BUN-CA	Biomass Users Network Centroamérica	m ²	Metro cuadrado
CO	Monóxido de carbono	m ³	Metros cúbicos
CO ₂	Dióxido de carbono	mm	Milímetros
CD	Corriente directa	m/s	Metros por segundo
EPDM	Ethylene Propoylene Diene Monomer	MW	Mega vatios
G	Giga (10 ⁹)	°C	Grados Centígrados
GEF/FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial	ONG	Organización No Gubernamental
Gls	Galones	Psig	Libras de presión por pulgada cuadrada
GTZ	Cooperación alemana para el desarrollo	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Gw	Giga vatio (10 ⁹ vatios)	PV	Fotovoltaico (por sus siglas en inglés)
GWh	Giga vatios hora	PVC	Cloruro de polivinilo
HC _s	Hidrocarburos	T	Tera (10 ¹²)
HR	Humedad relativa	TCe	Toneladas de carbón equivalente
Hz	Hertz	TM	Tonelada métrica
J	Joule (0,239 caloría ó 9,48 x 10 ⁻⁴ , unidades térmicas británicas, Btu)	US\$	Dólares USA
J/s	Joules por segundo	UV	Ultravioleta
K	Kilo (10 ³)	V	Voltios (el monto de “presión”de electricidad)
Km/s	Kilómetros por segundo	W	Vatios (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = vatios)
kW	(1000 vatios) -unidad de potencia-	Wp	Vatios pico
kW/m ²	Kilovatios por metro cuadrado	W/m ²	Vatios por metro cuadrado.



1. Introducción



Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica aún incipientes.

Con el fin de remover la barrera de información existente, se ha elaborado una serie de manuales técnicos con los aspectos básicos de cada una de las tecnologías, como:

- Energía de biomasa.
- Energía eólica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar térmica.
- Energía hidráulica a pequeña escala.

Estas publicaciones han sido elaboradas por la oficina, para Centroamérica, de Biomass Users Network (BUN-CA), en el contexto del proyecto "Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central" (FOCER) y con el apoyo de consultores específicos en cada tema. FOCER es un proyecto ejecutado por BUN-CA, conjuntamente con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el patrocinio del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF), dentro del área focal de Cambio Climático (Programa Operacional #6).

FOCER tiene como objetivo remover barreras que enfrenta la energía renovable y fortalecer la capacidad para el desarrollo de proyectos de este tipo a pequeña escala, en América Central, con el fin de reducir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero. Este proyecto se ejecuta por medio del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, de la organización de seminarios y talleres de capacitación y de la asistencia a gobiernos en la implementación de políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

El presente manual, en torno a la energía hidráulica a pequeña escala, tiene el objetivo de informar al lector sobre esta tecnología en el ámbito centroamericano, así como para darle fuentes adicionales de información.





2. ¿Qué es la energía hidráulica?

La generación de energía a partir de una corriente de agua es la fuente de energía renovable más usada en el mundo para generar electricidad. La mayoría es producida con centrales de gran escala que utilizan presas y embalses grandes los cuales pueden almacenar una gran cantidad de agua para regular la generación. Estas centrales tienen la capacidad de generar cantidades considerables de electricidad en forma constante durante ciertos períodos pero también causan impactos ambientales y sociales como: la obstrucción de la corriente de ríos, la inundación de áreas considerables y la reubicación de comunidades.

Los sistemas a pequeña escala, que pueden variar de unos cuantos vatios hasta 5 MW, no causan estos problemas y pueden contribuir a brindar el servicio de electricidad a zonas no-electrificadas y fortalecer la red interconectada. Estos proyectos generalmente son “a filo de agua”, o sea, que desvían temporalmente una parte del caudal de una corriente para la producción de energía hidroeléctrica.

2.1 Energía hidráulica e hidroeléctrica

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial¹ que tiene el agua (por diferencia de altura) que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. Esta energía se puede utilizar directamente para mover un pequeño aserradero, un molino o maquinaria de un beneficio de café. También es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con la ventaja de trasladar con mayor facilidad la energía a los puntos de consumo y aplicarla a una gran variedad de equipos y usos productivos.

Por lo tanto, la cantidad de potencia y energía disponible en el agua de un río o una quebrada, está en relación directa a la altura o caída disponible, así como de la cantidad de agua que se trasiega (caudal). Como estrategia inicial para escoger un posible aprovechamiento hidráulico se debe buscar la mayor caída o altura disponible y de esta manera usar la cantidad mínima de agua que se requiera para satisfacer las necesidades de energía y potencia.

Origen

La utilización de la energía hidráulica data de la época de los griegos, quienes empleaban la rueda hidráulica para bombear agua. Tanto la rueda hidráulica vertical como la horizontal se usaron en la Edad Media y el Renacimiento en la agricultura, minas, industria textil, industria forestal y en el transporte. Al inicio del siglo XIX se instaló la primera turbina hidráulica. La energía hidráulica tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial; impulsó las industrias textiles y del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible, por lo que la energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América.

Desarrollo de la energía hidroeléctrica

El aprovechamiento de la energía potencial del agua para producir electricidad constituye, en esencia, la energía hidroeléctrica y es por tanto, un recurso renovable y autóctono. El conjunto de instalaciones e infraestructura para aprovechar este potencial se denomina central hidroeléctrica. En el año de 1881 se construyó en Inglaterra, la primera planta hidroeléctrica. La producción de energía hidroeléctrica a gran escala empezó en 1895, cuando se construyó una represa de 3,75 MW (megawatts o megavatios) en las cataratas del Niágara, Estados Unidos.

¹ En el Anexo 3 se incluye una explicación de los conceptos básicos de energía.



¿Qué es energía hidráulica?



En la actualidad, la generación de electricidad por medio de los aprovechamientos hidráulicos sigue siendo una excelente vía para el desarrollo de los países de América Central. En particular, brinda una solución muy viable técnica y económicamente para resolver las necesidades de las comunidades aisladas de la red nacional, donde generalmente disponen de ríos y pequeñas quebradas con las características apropiadas para la instalación de pequeños o medianos equipos. Esto permite disponer de energía mecánica o eléctrica para atender las necesidades básicas de una agroindustria o una pequeña comunidad rural. Una de las grandes ventajas que presentan los aprovechamientos hidráulicos es que se pueden implementar soluciones de pequeña escala (micro plantas) con tecnología ya probada y de muy fácil acceso en los países de América Central.

2.2 Tipos de centrales hidroeléctricas

Se pueden distinguir principalmente dos tipos de centrales hidroeléctricas: las que utilizan el agua según discurre normalmente por el cauce de un río y aquellas a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o embalse.



Figura 1. Ejemplo de central hidroeléctrica con embalse.

Centrales de agua embalsada o centrales de pie de presa: son los aprovechamientos hidroeléctricos que tienen la opción de almacenar las aportaciones de un río mediante un embalse. En estas centrales, se regulan los caudales de salida para utilizarlos cuando sea necesario. La utilización de presas tiene varios inconvenientes. Muchas veces se inundan terrenos fértiles y en ocasiones poblaciones que es preciso evacuar. La fauna acuática puede ser alterada si no se toman medidas que la protejan. Esta disposición es más característica de centrales medianas o grandes en donde el caudal aprovechado por las turbinas es proporcionalmente muy grande al caudal promedio anual disponible en el río.

Todos los países de América Central dependen en gran parte de este tipo de centrales para la provisión de electricidad a sus poblaciones. La Tabla 1 muestra su contribución en la generación de electricidad a nivel nacional.

Tabla 1. Contribución de la energía hidroeléctrica en América Central en 1999.

	Capacidad eléctrica instalada (MW)			Generación de electricidad (GWh)		
	Total	Hidro	Porcentaje hidro	Total	Hidro	Porcentaje hidro
Belice	62	25	40%	10.3	41	40%
Costa Rica	1.500	1.048	70%	6.198	5.137	83%
El Salvador	999	399	40%	3.686	1.810	49%
Guatemala	1.439	511	36%	4.959	2.570	52%
Honduras	906	434	48%	3.445	2.132	62%
Nicaragua	602	103	17%	2.057	393	19%
Panamá	1.097	553	50%	4.398	3.119	71%
TOTAL	6.605	3.073		24.753	15.202	

Fuente: CEPAL, 2000





¿Qué es energía hidráulica?

Centrales a filo de agua: son aquellas instalaciones que mediante una obra de toma, captan una parte del caudal del río y lo conducen hacia la central para su aprovechamiento y después lo devuelven al cauce del río. Esta disposición es característica de las centrales medianas y pequeñas, en las que se utiliza una parte del caudal disponible en el río. Este tipo de centrales tiene un impacto mínimo al medio ambiente, porque al no bloquear el cauce del río, no inunda terrenos adyacentes.



Figura 2. Toma de una central a filo de agua.

Esta publicación presenta información sobre los sistemas a filo de agua a pequeña escala. Un criterio utilizado para agrupar pequeños proyectos hidroeléctricos es el de la potencia de generación:

Tamaño / Potencia	Usos: Aplicaciones
- Nano - o pico hidro: menos de 1kW	Para uso familiar y aplicaciones mecánicas.
- Micro - hidro: de 1 a 100 kW	Para una red eléctrica comunal (sistema aislado).
- Mini - hidro: de 100 a 1.000 kW	Para varias comunidades dentro de un radio de 10 a 40 km, y/o conexión a la red nacional.
- Pequeña central: de 1 a 5 MW	Para una pequeña ciudad y comunidades aledañas, además de conexión a la red.

En todos los países de América Central, se han instalado centrales pequeñas con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio, siendo la principal fuente de electricidad en zonas rurales retiradas. Es una tecnología establecida y probada y muchos componentes se fabrican localmente. Además, permite el uso de energía para usos productivos ya sea electricidad o energía mecánica para propulsar máquinas.



Cauce de agua para pequeña central hidroeléctrica, Costa Rica.



3. Funcionamiento de la Tecnología



3.1 Ciclo hidrológico

La energía hidráulica tiene su origen en el ciclo hidrológico, a saber: los rayos solares calientan los océanos y provocan que el agua se evapore y suba a la atmósfera para condensarse en las nubes y precipitar en forma de lluvia o nieve. Una parte cae en el mar y el resto en tierra firme. Esta última es la que se aprovecha. El agua que cae en la tierra forma corrientes de agua que, debido a las condiciones topográficas de los terrenos se van escurriendo en forma subterránea o por la superficie. Lo empinado de los montes y lo lejos que estén del mar condicionan las características de los cauces de los ríos y quebradas que por diferencias de alturas, se trasladan hacia el mar. Luego las aguas son nuevamente evaporadas iniciándose otra vez el ciclo hidrológico.

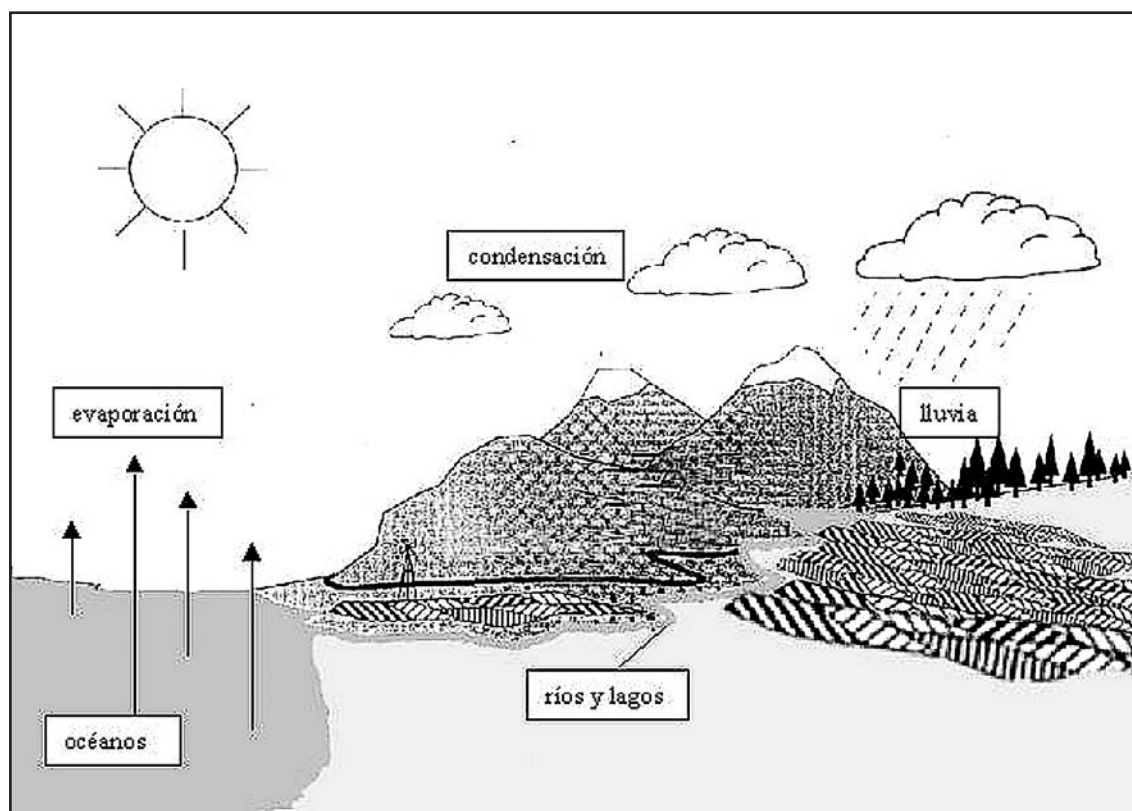


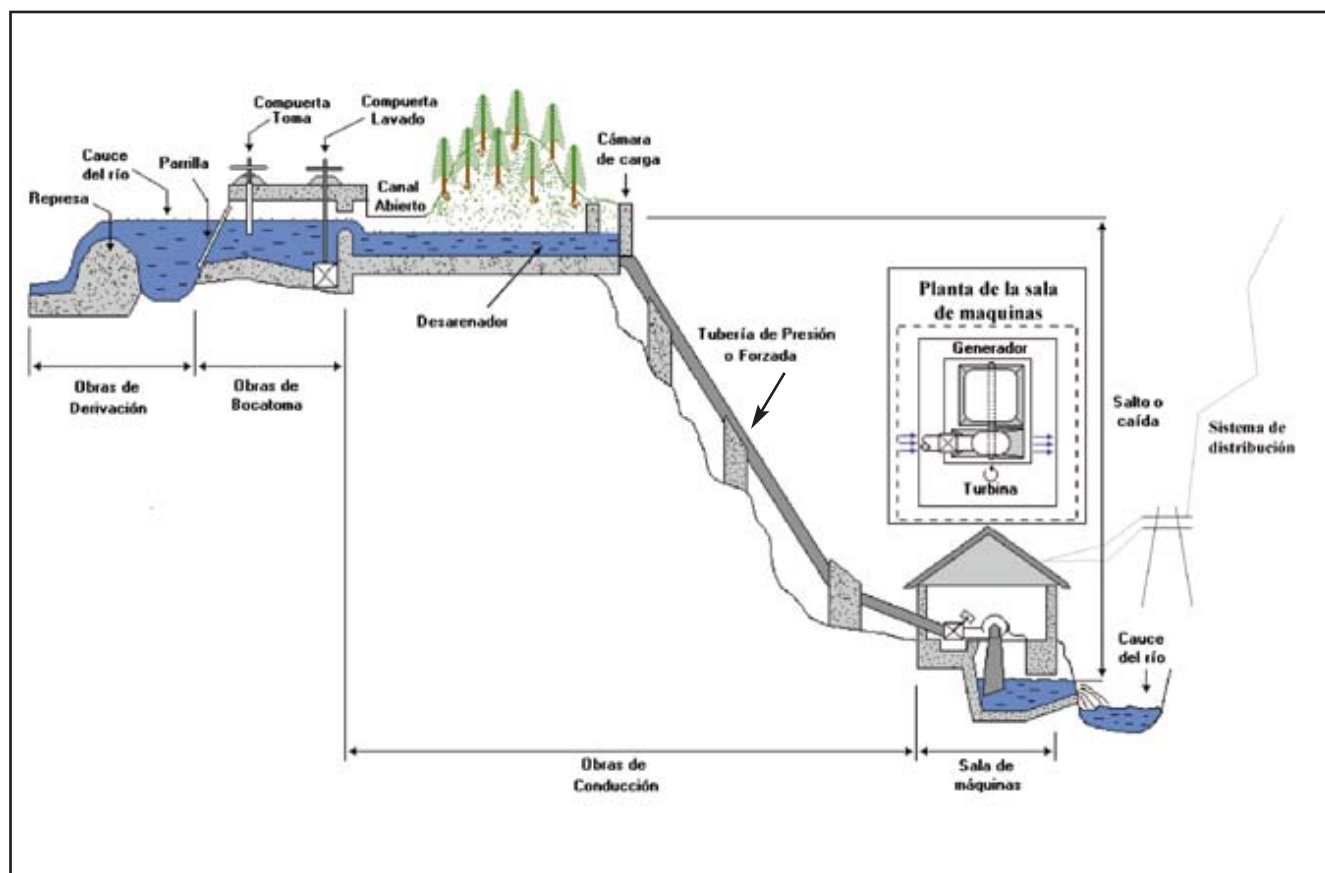
Figura 3. Ciclo del agua.

Para aprovechar la energía hidráulica se requiere que los ríos transporten los volúmenes de agua necesarios y, que las condiciones topográficas sean adecuadas, es decir, que haya caídas o saltos de agua - diferencias en altura - en su trayecto hacia el mar.





Figura 4. Esquema transversal de un sistema hidroeléctrico a filo de agua.



3.2 Componentes de un sistema hidroeléctrico

En una central hidroeléctrica, se transforma la energía potencial del agua en energía mecánica con una turbina hidráulica y luego, en energía eléctrica a través de un generador.

En la Figura 4 se muestra el esquema de una minicentral típica con todos sus elementos, los cuales se describen a continuación:

a) Obras de derivación

Este es un tipo de represa pequeña que se coloca en forma transversal al cauce del río con el fin de producir un remanso que facilite la derivación del agua hacia la bocatoma. También se utiliza para asegurar que la corriente esté siempre al alcance de la bocatoma en sitios donde el caudal se reduce mucho durante la época seca.





b) Obras de bocatoma

Este elemento se encarga de introducir y controlar el ingreso de agua al canal, el cual incluye una compuerta de toma del recurso hídrico y una compuerta de lavado, previo al ingreso del agua al desarenador. La bocatoma sirve como una zona de transición entre una corriente y un flujo de agua que debe ser controlado, tanto en calidad como en cantidad; por lo tanto la bocatoma exige un diseño cuidadoso, así como una ubicación adecuada.

c) Obras de conducción

- Desarenador: se utiliza para eliminar la arena y sedimentos de la corriente en el canal.
- Canal: es una estructura utilizada con el fin de conducir el agua a una distancia relativamente grande desde la bocatoma hasta la entrada a la tubería de presión, con un mínimo de pérdida de cabeza (mínimo de pérdida del nivel) y mínimo costo. Puede ser un canal abierto o tubería enterrada.
- Cámara de carga: es un punto de acumulación del agua antes de entrar a la tubería de presión. Como acumulador, puede servir para entregar agua extra al sistema durante las horas pico o para suplir temporalmente de agua en caso de una obstrucción en el canal. Además sirve para sedimentar las impurezas del agua, retirar los elementos flotantes, controlar la entrada de agua a la planta y desviar el exceso.
- Tubería de presión: es la tubería que conduce el agua a presión (tubo lleno) hasta la turbina.

d) Sala de máquinas

- Turbina: es el elemento encargado de transformar en energía mecánica la energía contenida en el agua. Existen diferentes tipos de turbina según la relación de caída y agua. Entre ellas se encuentran turbinas tipo Francis, Pelton y Kaplan (ver el Anexo 4 para más detalles sobre los tipos de turbinas hidráulicas).
- Generador o Alternador: se encarga de convertir la energía mecánica recibida de la turbina a través de un eje, en energía eléctrica. La potencia de los generadores tiene que estar acorde con el de la turbina. Para proyectos de nano- y micro-hidro generalmente se usan alternadores, que generan electricidad a corriente directa (CD), a 12 ó 24 voltios. En proyectos más grandes, los generadores producen electricidad a corriente alterna (CA) a voltajes mayores.
- Transformador o Inversor: se utiliza para elevar el voltaje de la corriente generada. En muchos casos se puede prescindir del transformador, pero si se debe transportar la corriente a grandes distancias y el generador trabaja a bajo voltaje, es necesario utilizar un banco de transformadores. En proyectos de nano- y micro- hidro, se puede aplicar un inversor el cual tiene la función de convertir la electricidad de corriente directa a bajos voltajes, generada por el alternador, a corriente alterna de voltajes mayores (por ejemplo, de 12 V a 110 V).



Funcionamiento de la Tecnología



e) Líneas de transmisión: se encargan de conducir la corriente eléctrica a los sitios donde se necesita la energía eléctrica (puntos de consumo). Para proyectos no conectados a la red incluye las líneas de distribución.

f) Líneas de distribución: se encargan de repartir la electricidad hasta los puntos finales de utilización, pueden ser líneas aéreas o subterráneas.

g) Aliviaderos: puede ser necesario usar aliviaderos en la bocatoma, canal, cámara de carga y desfogue de la turbina para que los excesos de agua sean retirados del sistema y debidamente conducidos hacia un cauce estable. Aunque su diseño es muy simple, debe tenerse mucho cuidado con su ubicación y correcto funcionamiento, pues su objetivo es evitar que las corrientes desviadas erosionen el terreno, destruyéndolo y poniendo en peligro las mismas obras civiles del proyecto.

En ciertos casos, se puede prescindir de alguno de estos elementos, todo depende de las condiciones topográficas especiales de cada proyecto, la capacidad requerida y la aplicación. Por ejemplo, los proyectos de nano- y micro hidro no requieren un transformador y en ocasiones se les instala un inversor. Los sistemas que solamente generan energía mecánica no requieren de los elementos eléctricos.

A la hora de realizar un proyecto de una minicentral hidroeléctrica se determinará la potencia por instalar, así como, el tipo de la turbina dependiendo del tipo de emplazamiento, la determinación del caudal y la altura del salto.

Varios factores contribuyen a la potencia total disponible de un sistema hidroeléctrico:

- El caudal: la cantidad de agua que pasa en un tiempo dado,
- La caída: la distancia vertical entre el punto de toma de agua y la turbina,
- Las pérdidas de fricción entre la toma y la turbina,
- Las eficiencias de la turbina y el generador.

Otros factores por considerar que afectan la potencia total disponible son por ejemplo: el porcentaje del agua que se desvía y las características bio-climáticas como sequías e inundaciones.



4. Aplicaciones



4.1 Sistemas domésticos individuales

Para este tipo de sistemas se aplican las nano-turbinas, que son pequeños sistemas de energía hidráulica que aprovechan la fuerza de pequeños ríos y quebradas, principalmente para generar energía mecánica. Además se pueden acoplar estas turbinas con alternadores o generadores de capacidad en el rango de 300 W a 12 voltios, hasta 1 kW a 110 voltios, dependiendo del caudal del agua, la demanda de electricidad y el financiamiento disponible.

Posibles aplicaciones de las nano-turbinas son los usos mecánicos en actividades agrícolas como despulpe de café, cargar baterías que luego pueden ser utilizadas en hogares para la provisión de iluminación o la provisión de electricidad a unas viviendas cercanas. Actualmente, se han instalado sistemas de este tipo en diferentes fincas de zonas cafetaleras en Honduras y Nicaragua.

Estos sistemas, además de tener una vida útil relativamente larga, tienen grandes beneficios pues no consumen agua (sólo la utilizan) y es una tecnología sencilla y limpia de usar, en sustitución de otros sistemas como los motores de diesel. Además, tienen las ventajas de ahorrar combustibles y gastos por transporte, evitar la contaminación por la emisión de gases y la reducción de los niveles de ruido.

Fuerza para fincas en Honduras y Nicaragua

En las zonas cafetaleras de Honduras y Nicaragua, ya existen buenas experiencias con el uso de sistemas nano-hidro para aplicaciones productivas y la electrificación de viviendas. En los Departamentos de Comayagua y La Paz, en Honduras, opera la empresa “Servicios para el Desarrollo Sostenido, S.A. (SEDES)” con la producción e instalación de nano-turbinas, que son aplicadas por pequeños productores, principalmente para despulpe de café. Estos sistemas son una alternativa para el uso del motor de diesel o sistemas manuales de despulpe. La nano-turbina es una tecnología costo-eficiente a largo plazo, que permite a los productores obtener un mejor precio para su producto. El sistema es multi-uso, tanto para aplicaciones mecánicas como eléctricas. A través del uso de fajas mecánicas se pueden propulsar diferentes herramientas, como un molino de maíz o un pulidor y cargar baterías. Si el usuario lo desea, también se puede generar a corriente alterna.



La Asociación de Trabajadores de Desarrollo Rural - Benjamín Linder (ATDER-BL) en Nicaragua, desarrolla, instala y promueve sistemas de hidro-energía para usos productivos y electrificación rural en los departamentos de Matagalpa y Jinotega en el norte de dicho país. Durante los últimos años, la Asociación ha instalado varios sistemas nano-hidro en fincas de la zona, principalmente para la provisión de electricidad (1-5 kW). En los últimos 2 años, con el fin de atender la demanda se ha mejorado el diseño del sistema al proporcionarle mayor capacidad eléctrica. Además de las nano-turbinas, ATDER-BL desarrolla proyectos comunales de electrificación rural, mediante sistemas aislados que varían de 50 kW a 500 kW. Estos proyectos brindan, en la actualidad, el servicio eléctrico a más de 6.000 personas ubicadas en zonas que no tienen acceso al Sistema Interconectado Nacional.

Con el apoyo de BUN-CA (FOCER), estos dos grupos han sido fortalecidos en su capacidad técnica e institucional, lo que les ha permitido continuar con la mejora de sus productos y la expansión del mercado. En el Anexo 2, se encuentran los detalles de forma de contacto para SEDES y ATDER-BL.





4.2 Micro y mini-hidro para usos productivos y mini-redes comunales

Estos sistemas son aplicados, por lo general, para aquellas poblaciones o pequeñas ciudades que en el presente no están interconectadas a las líneas de un sistema de transmisión y que de acuerdo con los planes o programas nacionales o regionales no van a ser incorporadas en un mediano plazo. El confort energético, logrado con estos sistemas, permite un nivel de electrificación similar a cualquier vivienda cuyo suministro eléctrico sea la red convencional.

Las potencias alcanzadas por estos sistemas, que pueden ser automatizados o manuales, oscilan entre 1 kW hasta 1.000 kW según las características del salto. La energía obtenida puede acumularse en baterías o consumirse directamente, dependiendo de la capacidad del sistema.

El desarrollo de pequeños proyectos comunales genera una serie de beneficios que vienen a mejorar significativamente las condiciones y la calidad de vida de las familias que hacen uso de los servicios facilitados por la energía hidráulica. Además, el disponer de ella permite que sus usuarios proyecten o inicien pequeñas o medianas actividades agroindustriales, entre ellas, refrigeración de leche, elaboración de productos lácteos, movimiento de sierras para aserrar madera, despulpado de café y otros.

Sin embargo, uno de los aspectos importantes que aportan el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza, es la agrupación comunal en la cual se organizan las familias en torno al proyecto al participar y aportar recursos de mano de obra, equipo y materiales. En la región de América Central, se han desarrollado varios proyectos para generación de electricidad tipo mini-redes, que son ejemplo de la integración comunal en busca de mejores oportunidades para el desarrollo.

“La Olla Eléctrica”

En el sur de Costa Rica una pequeña comunidad goza de los beneficios de un sistema micro-hidroeléctrico con un sistema de mini-red. COOPEUNIORO R.L. es una cooperativa comunitaria ubicada en el centro de la Península de Osa, al sur de Costa Rica, en el borde del Parque Nacional Corcovado, que se dedica al agro-ecoturismo y conservación, a través de investigaciones de plantas medicinales y especies de flora de la zona, y al servicio turístico de visitantes y grupos de estudiantes de universidades, tanto nacionales como internacionales. Anteriormente, los requerimientos de energía eléctrica fueron suplidos por medio de un generador diesel. Ello significó siempre un enorme problema de transporte del combustible por la localización aislada de la zona y, de alguna manera, una contradicción con los esfuerzos de la Cooperativa por la protección del medio ambiente, especialmente por la contaminación causada por los residuos del diesel y el ruido del generador.



En 1999, se hizo realidad el sueño de disponer de electricidad continua y “limpia”, gracias al aporte técnico y económico de un turista-amigo norteamericano y al apoyo técnico de un vecino mecánico-electricista. Desde esa fecha, salvo pequeñas interrupciones para mantenimiento, se dispone de la energía requerida las 24 horas para todas las necesidades de la comunidad.

El sistema cuenta con una pequeña turbina Pelton, suspendida en forma horizontal dentro de una olla de aluminio, y acoplada directamente a un alternador de vehículo. La electricidad generada es acumulada en un banco de 4 baterías de 110 amperios-hora cada una. Luego se transforma en corriente de 110 voltios por medio de un inversor de 1.5 kW. A través de una mini-red eléctrica se conectan unas 15 viviendas al sistema, brindando los servicios de iluminación, refrigeración y comunicación. Con el apoyo técnico y financiero de BUN-CA (FOCER), se realizó en el año 2001 la rehabilitación del sistema, que resultó en una mayor eficiencia y generación de electricidad durante todo el año. El proyecto es un buen ejemplo de cómo un sistema micro-hidro puede satisfacer las necesidades energéticas a pequeñas comunidades y se promueve su reaplicación en otros lugares aislados.





4.3 Conexión a la red eléctrica interconectada

Los sistemas mini-hidro y las pequeñas centrales hidroeléctricas pueden trabajar en forma aislada en sitios remotos, pero también pueden conectarse a la red nacional, aunque su contribución energética tiene una incidencia mucho menor que la de las grandes centrales.

La interconexión a la red nacional de una pequeña o mediana central de generación, no presenta ningún tipo de limitación técnica, que no pueda ser resuelta por la ingeniería convencional. Se debe contar con una serie de equipos adicionales que permitan adecuar la energía generada a las condiciones de voltaje, frecuencia y fase del sistema interconectado. Para esto, se necesitan equipos electromecánicos que demandan una mayor inversión de capital.

Generalmente, para el desarrollo de una planta hidroeléctrica conectada a la red nacional, se necesita evaluar los siguientes aspectos:

- Estudio geotécnico para evaluar las condiciones geológicas del sitio.
- Estudio hidrológico para estimar el tamaño y el rendimiento del proyecto basado en el caudal y la caída.
- Experiencia en ingeniería de proyectos hidroeléctricos para planear el proyecto y estimar su impacto desde una perspectiva de rendimiento, impacto ambiental, construcción, interconexión, operación y costos.
- Experiencia legal para cumplir con todos los permisos y aprobaciones requeridas y preparar la documentación necesaria para hacer el proyecto bancable.
- Habilidades de negociación para lograr acuerdos con los proveedores, contratistas, compradores y entidades regulatorias.
- Relaciones con contratistas de ingeniería, adquisiciones y construcción.
- Relaciones con proveedores de operación y mantenimiento, ya sean contratistas o empleados.
- Relaciones con instituciones financieras e inversionistas.





Generación Hidroeléctrica Privada en Honduras

Con el fin de satisfacer el crecimiento fuerte de la demanda de electricidad en Honduras, en 1994 se abrió a la empresa privada la participación en la generación eléctrica, en el territorio nacional. A partir de ese momento, han surgido iniciativas privadas para aprovechar el potencial de los recursos naturales, principalmente el hidroeléctrico. Sin embargo, hasta la fecha, pocos proyectos han llegado a la fase de operación y el énfasis, en los últimos años, ha sido en torno a los proyectos de generación térmica.

El proyecto hidroeléctrico Yojoa es el primer proyecto privado en su tipo que ha logrado cumplir con todos los procesos y requisitos. Este se ubica en el Municipio de Santa Cruz de Yojoa del Departamento de Cortés. Se trata de un proyecto a filo de agua con una capacidad de 630 kW para conectarse a la red, más la electrificación de una comunidad vecina con unas 50 viviendas y 3 centros educativos. Las condiciones topográficas y geológicas son favorables, asimismo la cercanía del sitio a la red de interconexión nacional las cuales permiten obtener un costo relativamente bajo por kilovatio instalado. Anualmente, el proyecto generará 3 GWh y evitará 1.200 toneladas de CO₂ por año, considerando las fuentes actuales de generación en el país. El proyecto ha suscrito un contrato con la Empresa Nacional de la Energía Eléctrica (ENEE) para la venta de la energía generada. Además, obtuvo el financiamiento requerido y empezó su construcción en junio del 2002.

Con el apoyo de BUN-CA (FOCER), se concluyó el estudio de factibilidad y se realizó el estudio de impacto ambiental. Además, BUN-CA facilitó la obtención del financiamiento del proyecto a través del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), con la intermediación de un banco local hondureño.

A pesar de las ventajas técnicas, económicas y ambientales de este tipo de proyectos, el desarrollo de los mismos está frenado por varias barreras, por ejemplo: los procedimientos y requisitos para los pequeños proyectos de energía renovable son iguales a los mega-proyectos. Por eso, la empresa desarrolladora del proyecto Hidro Yojoa ha planteado como objetivos, además de la generación y venta de energía, la demostración de la viabilidad de este tipo de sistemas, y la promoción de la participación privada de los pequeños proyectos en la generación eléctrica en el país.



Hidroyojoa - Honduras



5. Costos



5.1 Estimación de costos

Al calcular el costo de un proyecto hidroeléctrico se deben considerar los siguientes rubros:

- Costo de inversión (directos e indirectos)
- Costos de reposiciones intermedias
- Costos de operación y mantenimiento

Los **costos de inversión** son los costos totales que se deben pagar para un proyecto totalmente construido. Los costos directos incluyen los rubros directos de construcción, terrenos y servidumbre. Los costos indirectos se refieren a los gastos legales y de administración, costos de ingeniería por diseños, supervisión de construcción, documentos de licitación, supervisión y fiscalización de la construcción de la obra y supervisión de la puesta en marcha con asesoramiento al personal encargado e imprevistos. Generalmente, su valor se estima como un porcentaje del costo directo. En efecto, para cubrir los costos indirectos, se considera necesario entre el 10 y el 15% de los costos directos de construcción. Un 5% de dichos costos se asignan como gastos administrativos.

Tabla 2. Distribución de costos de inversión.

Rubro	Porcentaje del costo (en %)
Obras civiles	15 - 40
Equipo electromecánico	30 - 60
Infraestructura	10 - 15
Costos indirectos	10 - 15

En la Tabla 3 se muestran rangos de costos de inversión para los diferentes tamaños de proyectos.

Tabla 3. Costos de inversión de proyectos a diferentes escalas.

Tipo de proyecto	Costos de inversión (US\$/kW)	Componentes principales	Posibles variables que pueden afectar el costo
Nano turbinas (menos de 1 kW)	3.000-5.000	Turbinas. Generadores eléctricos.	Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas.
Micro-hidros (1-100 kW)	3.000-5.000	Turbinas. Regulador de velocidad. Generadores eléctricos.	Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas.
Mini-hidro (100-1.000 kW) Pequeñas centrales (1-5 MW)	1.500-2.000	Obras derivación. Canal. Embalse. Vertedor y descarga fondo. Tubería forzada. Sala de máquinas. Equipo electromecánico. Transmisión.	Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas, geológicas y geomorfológicas del sitio. Distancia a la red eléctrica.

Las **reposiciones intermedias** se refieren a las obras y equipos que tienen una vida útil menor a la vida útil del proyecto global y que deben ser repuestos para conseguir un adecuado funcionamiento de las instalaciones. Estos valores se incluyen en el cálculo de la tasa interna como un porcentaje del costo total y con una determinada vida útil.

Los **costos de operación y mantenimiento** pueden expresarse en costo unitario por año (por ejemplo UScents\$/kW/año) en función del tamaño de la central o como un monto anual dado en un porcentaje de la inversión total del proyecto. Generalmente, estos costos fluctúan entre \$ 0,01 y \$ 0,02 por kWh.





5.2 Aspectos por considerar para centrales conectadas a la red

En las pequeñas centrales hidroeléctricas, la reducción de la potencia incrementa los costos por kW instalado es decir que por cada kW instalado son más costosas que las grandes centrales.

Para justificar económicamente una central pequeña se debe tratar de reducir sus costos al simplificar los diseños y a veces se realiza a expensas de la eficiencia. De todos modos, el costo de los equipos en las pequeñas centrales puede incrementar hasta alcanzar el 50% del costo total, razón por la cual, para mantenerlas competitivas, hay que buscar la forma de reducir el costo de las obras civiles. En especial, se debe tratar de reducir los costos fijos que no son función de la potencia o no lo son en forma lineal. Entre estos se tienen los costos de los estudios, los de caminos de acceso, los de la casa de máquinas y de la línea de conducción.

En concordancia con el criterio para evitar las grandes inversiones, en las pequeñas centrales no se contempla la construcción de las presas de embalse sino los diseños del tipo “a filo de agua”. En ciertos casos favorables desde el punto de vista morfológico y sedimentológico, se considera la incorporación en el diseño de un embalse de regulación diaria que puede estar ubicado en el mismo río o preferentemente al final de la conducción. Este permite regular la generación en horas cuando la demanda es mayor, y por consecuencia, la tarifa que se paga es más alta.

Por lo anterior, se acostumbra reducir al máximo todas las inversiones tratando de utilizar hasta donde sea posible materiales locales de poco costo, tecnología sencilla y mano de obra no especializada, siempre y cuando se garantice la operación confiable del proyecto.

Asimismo, la distribución espacial de la planta está relacionada con los costos de producción de la energía y de la transmisión de ella hacia los puntos de consumo. Los costos de producción son función de dos factores ambientales: la topografía y la hidrología. Así, un sitio con características naturales superiores puede tener muy poco valor económico si se encuentra muy alejado del mercado. El equilibrio entre el costo de la producción y el costo del transporte se aplica aquí, como en otras formas de la actividad económica.

En conclusión, desde el punto de vista económico, la inversión en pequeños proyectos hidroeléctricos es muy atractiva. Por lo general, estos tienen una vida útil de 40 años, teniendo un costo inicial elevado pero recuperable la inversión en unos 10 años dado que sus gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos.

Aspectos como los bajos costos de las pequeñas centrales hidroeléctricas y sus menores tiempos de construcción, respecto de los mega proyectos pueden facilitar el financiamiento de este tipo de sistemas si se logra una participación activa de la comunidad aportando mano de obra, terrenos, materiales y otros con los que se alcanzaría una adecuada rentabilidad financiera para el proyecto.



Riachuelo para aprovechamiento mini-hidroeléctrica, Nicaragua.



6. Aspectos Ambientales



Desde el punto de vista ambiental, la energía hidroeléctrica tiene la gran ventaja de ser un recurso limpio y renovable. Su utilización no genera emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que contribuye a la reducción del calentamiento global. Adicionalmente, los proyectos a pequeña escala no producen impactos significativos al ambiente local cuando están instalados y operados en forma apropiada. Sin embargo, muchas veces dichos proyectos están ubicados en sitios de elevada sensibilidad ambiental por lo que pueden inducir impactos de carácter local. En el desarrollo de un proyecto, es necesario tomar en cuenta estos posibles impactos y proponer medidas de mitigación. Deben realizarse estudios para verificar que los proyectos hagan el mejor aprovechamiento de los ecosistemas y recomendar medidas para disminuir el riesgo de alterar el equilibrio natural existente, durante la construcción y operación de estos proyectos. Al considerar la construcción de uno de estos también se debe tomar en cuenta las regulaciones de conservación dadas por las leyes y reglamentos vigentes en cada país.

Los impactos varían con la ubicación y la configuración del proyecto. Desde el punto de vista de la ubicación, un aprovechamiento en una zona montañosa genera diferentes impactos que uno de llanura. Desde el punto de vista tecnológico, los proyectos con pequeño embalse regulador generan impactos, cuantitativa y cualitativamente diferentes a los proyectos sin este componente.

La influencia de los proyectos en tierras aledañas puede dividirse en dos categorías básicas: efectos físicos y efectos ecológicos. Los primeros comprenden sobre todo actividades relacionadas con los cambios topográficos, tales como construcción de carreteras, zanjas y colocación de desperdicios y el posible aumento de erosión. La segunda categoría comprende la movilización de tierras y otras alteraciones del hábitat, que afecta directamente a los seres vivos, principalmente a la población animal. En especial, se señala la tala de bosques estimulada por la apertura de una zona de nuevos caminos de acceso a las obras. Otra distinción de los impactos son los dados durante la construcción, operación y mantenimiento.

A continuación se mencionan los posibles impactos ambientales de pequeños proyectos de hidroenergía y las medidas para mitigarlos:

- Construcción de la obra civil: esta fase impacta al ambiente. Entre otros, por los ruidos que alteran la vida de los animales y los humanos, peligro de erosión por los movimientos de la tierra y la turbidez de las aguas y precipitación de sedimentos, lo que puede impactar el hábitat de la vida acuática. Para mitigar estos impactos, se recomienda que las obras se realicen en la época seca y que inmediatamente después de la construcción se lleven a cabo trabajos de revegetación del terreno. En todo caso, estos impactos tienen un carácter temporal.

- Impacto sónico: éste procede, durante la operación, principalmente de la turbina, el generador y en el caso que el sistema lo contemple, de las fajas para incrementar la velocidad. Esto se puede disminuir con la construcción de una casa de máquinas apropiada, posiblemente con material aislante. Además, se puede minimizar la libertad de movimientos de los conductos hidráulicos y soportes ante la vibración de la turbina y el generador.

- Embalse: en el caso de que el proyecto tenga un pequeño embalse para regular las horas de generación, hay impactos por la construcción de caminos, los movimientos de la tierra, y la pérdida del terreno. La gravedad de estos impactos depende principalmente del tamaño del embalse. Estos impactos y las medidas de mitigación son comunes para cualquier obra de infraestructura.





· Conservación de la cuenca: para sostener la generación de energía en un largo plazo, la protección y conservación de la cuenca que alimenta el río es sumamente importante porque sin bosques no habrá suficiente agua para el sistema. La protección de la cuenca además contribuye a la prevención de la erosión de los suelos y el de la desertificación. La experiencia de pequeños proyectos muestra que éstos incentivan a la población a preservar y mantener los bosques aledaños.

· Flujo de agua: para contrarrestar los efectos producidos por la disminución de los flujos naturales de agua, es necesario dejar un caudal mínimo en los ríos, recomendando que éste equivalga al 10% del caudal medio (conocido como caudal ecológico). Para satisfacer este requisito, se supone que las obras de captación previstas permitirán el paso de estos caudales mínimos en cualquier condición de funcionamiento.

· Migración de peces: dependiendo del tamaño del proyecto, dentro del diseño de las obras se debe considerar las especies de peces existentes y otra vida acuática en los ríos que podrían migrar corriente abajo hacia estuarios o área marítimas, ya sea para procrear o con el fin de procurarse alimentos. Se debe decidir si es o no necesaria la instalación de escaleras de peces que permitan su retorno en la época de desoves o la conveniencia o no, de la instalación de una estación de incubación de aguas debajo de las presas. Es necesario realizar una investigación al respecto, principalmente para proyectos de tamaño mediano o de menor escala que aprovechan un alto porcentaje del caudal promedio anual del río.

· Impacto al paisaje: dado que los proyectos hidroeléctricos suelen localizarse en zonas montañosas y forestales, tienden a tener un impacto visual significativo. Este se puede mitigar con el uso de colores semejantes al ambiente y la colocación bajo la superficie de algunos componentes como el canal de conducto y la tubería de presión. Hay que destacar que algunos impactos al paisaje pueden ser positivos, como la presencia de un embalse, que puede ser utilizado para actividades recreativas.

· Agua potable: dado que ésta se obtiene generalmente de la misma fuente de un proyecto hidroeléctrico, se debe considerar el impacto a la calidad y cantidad del agua disponible para este fin.

· Impacto social: como impacto positivo se puede destacar que la construcción y operación de una pequeña central crea empleo a nivel local. Este puede ser directo, en la forma del personal contratado para la construcción y operación del sistema, e indirecto, por las oportunidades de actividades productivas que brinda un proyecto en el caso de la electrificación de una zona aislada.

· Avenida de proyecto: es el caudal que puede esperarse de la más extrema combinación de condiciones hidrológicas y meteorológicas, que se consideren razonablemente características de la región geográfica de que se trate, excluyendo las combinaciones extremadamente improbables.

· Avenida máxima posible: máximo caudal que cabe esperarse suponiendo una coincidencia total de todos los factores que producirían las mayores precipitaciones y la máxima escorrentía.



7. Ventajas y Desventajas



7.1 Ventajas

Entre las ventajas que tiene la hidro-energía a pequeña escala se citan:

- Fuente limpia y renovable de energía: no consume agua, sólo la utiliza. No emite gases de efecto invernadero y los impactos locales no son significativos. Además es un recurso inagotable, en tanto y cuando el ciclo del agua perdure y se conserve la cuenca.
- Disponibilidad del recurso: por las características climatológicas y topográficas, este recurso está disponible en muchos sitios de América Central.
- Bajos costos de operación: no se requiere de combustibles y las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas por lo que los gastos de operación son bajos.
- Disponibilidad de energía: la generación de energía generalmente es continua y su disponibilidad es predecible.
- Funciona a la temperatura ambiente: no hay que emplear sistemas de refrigeración o calderas que consumen energía y, en muchos casos, contaminan.
- Eficiencia: la tecnología tiene una alta eficiencia en la conversión de la energía potencial en el agua a energía mecánica y eléctrica (entre 75% y 90%), mayor que la eficiencia de otras tecnologías.
- Solidez: la tecnología es robusta y tiene una vida útil larga. Los sistemas pueden funcionar 50 años o más sin requerir mayores inversiones que para reemplazar componentes.
- Combinación con otras actividades: se puede combinar con otro tipo de actividades económicas, como la irrigación de suelos para siembra.
- Usos productivos: la disponibilidad continua y firme de energía permite el desarrollo de actividades productivas y económicas, tales como aserraderos, lecherías, procesamiento de productos agrícolas. Estas actividades ayudan a aumentar la rentabilidad del proyecto y la calidad de vida de las comunidades aledañas.

7.2 Desventajas

A continuación se describen las principales desventajas asociadas a esta tecnología:

- Alto costo inicial: la inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto, como por ejemplo en la ejecución de estudios, construcción de la obra civil, y la compra del equipo electromecánico.
- Disponibilidad local: la tecnología depende de las condiciones topográficas e hidrológicas, entonces no está disponible en cualquier sitio. Las posibilidades de transmisión de la energía a largas distancias son limitadas por los costos de éste.
- Potencia máxima: ésta es limitada y definida por el recurso natural en un sitio. Limita las posibilidades de expansión a largo plazo para atender al crecimiento de la demanda.
- Variabilidad del caudal: los caudales de agua pueden variar considerablemente durante las diferentes temporadas, lo que tiene impacto en la generación de energía.
- Necesidad de estudios: Los pequeños proyectos hidroeléctricos, en particular las pequeñas centrales, requieren de estudios técnicos elaborados para conocer el potencial disponible y la factibilidad técnica. Esto implica un costo y un plazo significativo en la puesta en marcha del proyecto.





8. Experiencias en América Central

La energía hidroeléctrica es una de las primeras fuentes de energía que se ha aprovechado para la producción de electricidad en América Central. Al inicio del siglo pasado, las pequeñas centrales hidroeléctricas constituyeron la base de la generación eléctrica en zonas rurales. Con la ampliación de la red interconectada nacional, estos proyectos perdieron importancia y muchos quedaron abandonados.

En los últimos años, se han estado desarrollando varias iniciativas pequeñas, tanto en proyectos antiguos como en nuevos sitios. Sin embargo, la falta de acceso a financiamiento y el estado de transición de las leyes y regulaciones del sector eléctrico en muchos países de América Central dificultan una mayor participación en la contabilidad energética nacional.

Aunque la potencia de estas instalaciones es muy pequeña, el conjunto de todas ellas puede ofrecer una producción considerable. Debido al alto costo de la importación de combustibles fósiles y la limitación de inversión para proyectos grandes en muchos países, los proyectos hidroeléctricos de pequeña escala brindan una solución excelente para electrificar las zonas no-electrificadas y aumentar la capacidad eléctrica instalada en el país. Además de abastecer electricidad para consumo residencial e industrial, este tipo de recurso puede utilizarse en aplicaciones mecánicas para labores agroindustriales, riego de terrenos, entre otros.

8.1 Potencial

Los países de América Central cuentan con condiciones muy favorables para el desarrollo de pequeños proyectos hidroeléctricos por la alta disponibilidad de ríos y quebradas en las zonas montañosas. En la región, la superficie de las cuencas hidrográficas representa aproximadamente el 37% del territorio, sumando alrededor de 191,449 kilómetros cuadrados. La tabla siguiente muestra el potencial comercial por país, basado en proyectos menores de 20 MW que se están desarrollando en la región.

Tabla 4. Potencial de pequeños proyectos hidroeléctricos identificados (menor de 20 MW).

País	Potencial (MW)
Belice	25
Costa Rica	400
El Salvador	99
Guatemala	40
Honduras	140
Nicaragua	17
Panamá	132
TOTAL	853

Fuente: ERAC (2000)





8.2 Barreras

A pesar de las ventajas y el potencial de la energía hidroeléctrica, existe un conjunto de barreras que obstruyen su desarrollo en la región de América Central, entre las cuales se destacan:

- Falta de acceso a financiamiento: debido al alto costo inicial de un proyecto, se requiere financiamiento de tipo comercial a largo plazo para que éste sea financieramente factible. En general, el financiamiento disponible es de corto plazo y con altas tasas de interés.
- Requisitos y costos para permisos: los requisitos para obtener los permisos suelen ser igual para pequeños y grandes proyectos, sin considerar el tamaño o tipo de proyecto, como por ejemplo la capacidad por instalar o la previsión de un embalse de mayor tamaño. En consecuencia, los costos incurridos por MW para cumplir con los requisitos son muy superiores para los pequeños desarrolladores. Adicionalmente, el trámite de todos los permisos resulta muy lento y puede durar varios años.
- Restricción en la capacidad mínima: en algunos países se limita la entrada al mercado mayorista de electricidad a generadores con una capacidad mínima de 5 ó 10 MW. Esto imposibilita la venta directa al mercado mayorista por los pequeños productores y por lo tanto reduce sus opciones de venta y participación en ese mercado.
- Impuestos de importación: mientras que actualmente, en la mayoría de los países, las plantas térmicas cuentan con una exoneración de impuestos sobre la importación de combustibles, los proyectos privados que explotan fuentes renovables tienen que pagar impuestos de importación sobre los equipos. Esto desfavorece la competitividad de las fuentes renovables, entre ellas las hidroeléctricas.
- Plazo de contrato de compra-venta: los plazos de los contratos para la venta de la energía generada a los distribuidores, con frecuencia, son reducidos de plazo. Esto hace que el proyecto resulte menos factible en términos financieros y le dificulta la obtención de esquemas de financiamiento a largo plazo.







ANEXOS

Anexo 1. Publicaciones y Sitios Web Recomendados



CEPAL (2000), Istmo Centroamericano: Estadísticas del Subsector Eléctrico, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Disponible en <http://www.cepal.org.mx>

ERAC (2000), Desarrollo de Energías Renovables en el Proceso de Liberalización del Mercado Energético en América Central, Segundo Informe: Diagnóstico del Potencial Existente, Política y Planeamiento para el Desarrollo de las Energías Renovables, Proyecto Energías Renovables en América Central (ERAC).

ESHA (1998), Manual de Pequeña Hidráulica, como llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrico, European Small Hydropower Association, publicado por la Dirección General de Energía de la Comisión Europea.

Disponible en formato electrónico en <http://www.microhydropower.net/download/books.html>

FENERCA (2001a), Modelos Empresariales para Servicios Energéticos Aislados, publicación del programa Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica (FENERCA), E+CO, BUN-CA, PA Government Services, San José, Costa Rica.

FENERCA (2001b), Promoción de Energía Renovable en Centroamérica: Oportunidades para el Planteamiento de Políticas, publicación del programa Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica (FENERCA), E+CO, BUN-CA, PA Government Services, San José, Costa Rica

Fraenkel et al. (1991), Micro-hydro Power, a Guide for Development Workers, Intermediate Technology Publications, London, UK.

Progresna (2001), Energía Hidráulica, Monografías Técnicas de Energía Renovables No. 2, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla (España).

Sitios Web Recomendados

Información Educativa

<http://solstice.crest.org/renewables/re-kiosk/hydro/index.shtml>

Información básica sobre aplicaciones, tecnologías y aspectos económicos de la energía hidroeléctrica.

<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/ehidraul/p1.htm>

Asignatura en línea sobre la energía hidráulica del Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra, España.

<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/orosolar.htm>

“El Oro Solar y Otras Fuentes De Energía”, información sobre diferentes fuentes de energía, incluyendo la energía hidráulica, Biblioteca digital del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa.

<http://ww.unam.edu.ar/microt/barney0.htm>

Guía Metodológica para la implementación de Pequeños Emprendimientos Hidráulicos.

<http://www.microhydropower.net/>

Sitio dedicado a sistemas micro-hidro, con un enfoque en aplicaciones en países en vías de desarrollo.



Publicaciones y Sitios Web Recomendados



General

<http://energy.sourceguides.com/businesses/byP/hydro/hRP.shtml>

Contiene directorio de negocios hidroeléctricos en el mundo.

<http://www.dianet.com.ar/dianet/users/Solis/Informe2.htm#Energía Hidráulica>

Información sobre el funcionamiento de la energía hidráulica, además con información de otras fuentes de energía.

<http://www.bun-ca.org>

Biomass Users Network – Oficina Regional para Centro América (BUN-CA), ONG regional con la misión de contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad productiva de América Central, en energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

<http://www.energyhouse.com>

E+Co, Corporación de inversiones en energía renovable y eficiencia energética, sin fines de lucro.



Anexo 2. Consultores y Suplidores de Equipos.



(Espacio para anotar nuevas referencias)

BELICE:

Kelosha Corporation
Dangriga, Belice
Tel.: (501) 512050

Luis Aké
Telefax: (501) 225-3279
E-mail: lraque@btl.net

GUATEMALA:

FUNDACION SOLAR.
15 Av. 18-78 Zona 13,
01013 Ciudad de Guatemala.
Tel.: (502) 360- 1172
Fax: (502) 332-2548
E-mail: funsolar@guate.net

DINTERSA

5ª Avenida 1-71, Zona 9, Local 4,
CP 01009 Ciudad de Guatemala.
Tel.: (502) 332-3807, 332-3918
Fax: (502) 332-3918
E-mail: dintersa@microq.com.gt

EL SALVADOR:

José Hermes Landaverde.
Telefax: (503) 273 6243
E-mail: hlandaverde@navegante.com.sv,
hlandaverde@ingendehsa.com

Ismael Sánchez

Tel: (503) 273 7888 /210-6662/6600
Fax: (503) 273 8140 / 210-6664
E-Mail: isanchez@ing.uca.edu.sv

HONDURAS:

Asociación Hondureña de Pequeños Productores
de Energía Renovable (AHPPER).
Telf: (504) 235-7395
Fax: (504) 235-7395
Sitio web: www.ahpper.hn



Consultores y Suplidores de Equipos.



Servicios para el Desarrollo Sostenido S.A. (SEDES)
Comayagua.
Tel. (504) 772-1749
Fax. (504) 772-0500
E-mail: sedes_hn@yahoo.com

Ing. Manuel Ma-Tay Cuellar
Tel: (504) 224 0703
Fax: (504) 224-3624
E-mail: mmatay@edured.net

La Cascada, S.A.
Telefax: (504) 996-2903
E-mail: cascada41@hotmail.com

NICARAGUA:

Asociación de Trabajadores de Desarrollo Rural -
Benjamín Linder (ATDER-BL).
Del Hotel Bermúdez, 75 v. Sur, Matagalpa.
Tel.: (505) 612-2030
Fax : (505) 612-5423
E-mail : atder@ibw.com.ni

TECNOSOL
Rotonda Bello Horizonte
150 mts. Arriba, Casa L - I 20, Managua.
Telefax: (505) 244-2205
E-mail: tecnosol@munditel.com.ni

COSTA RICA:

GjiménezS, Consultores en Energía,
Apartado 220 - 2010, San José.
Tel.: (506) 385 - 2365
Fax: (506) 232 - 8546
E-mail: jimenezs@sol.racsa.co.cr

CIRE - Consultores en Ingeniería
y Recursos Energéticos, S.A.
Tel.: (506) 268 6135
Fax: (506) 268 6128
E-mail: lfchanto@racsa.co.cr

ENERCOS
Tel.: (506) 386-6559
Fax: (506) 260-3641
E-mail: solelect@racsa.co.cr



Consultores y Suplidores de Equipos.



Rogelio Sotela
Telefax: (506) 232-4432
E-mail: rosomu@racsa.co.cr

INTERDINAMICA
Barrio Aranjuez, San José.
Tel.: (506) 221-8333
Fax: (506) 222-5241
E-mail: interdin@interdinamic.com
Web: <http://www.interdinamic.com>

CINK Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.
Representante para Centroamérica PRAHA Comercial S.A.,
San José, Costa Rica.
Telefax: (506) 256-8274
E-mail: paha@sol.racsa.co.cr

Geoingeniería S.A.
Carret La Uruca, San José.
Tel: (506) 290-4656
Fax: (506) 290-4657
E-mail: geoing@sol.racsa.co.cr

Durman Esquivel
Tel.: (506) 212 5800
Fax: (506) 233 9962
E-mail: lalvarez@grundfos.com

SOL 2000
Teléfono: (506) 286-3203 / 227-2932
Fax: (506) 227-7300

PANAMÁ:

Electric Power Panama, S.A. (EPPSA)
Telefax: (507) 225-8188
e-mail: zeolites@ewpanama.net



Anexo 3. Conceptos básicos de energía



1. Energía y Potencia

La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial para prácticamente todas las actividades. Ella es un concepto que se relaciona con varios procesos (como quemar combustibles o propulsar máquinas), así como con las observaciones de dichos procesos. La energía se define científicamente como la capacidad de hacer trabajo.

Fuentes de energía

Existen diferentes fuentes de energía las cuales se pueden clasificar en dos grupos:

- Fuentes renovables: no se agotan por su uso, como la energía del viento y del sol. El agua y la biomasa también se incluyen en esta categoría, aunque son renovables bajo la condición de que la fuente se maneje en forma apropiada, por ejemplo, las cuencas hidrológicas y plantaciones de árboles.
- Fuentes no-renovables: están disponibles en cantidades limitadas y se agotan por su uso como los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural). Estas tienen la característica de que, una vez utilizadas para la generación de energía, no se pueden volver a usar.

Formas de energía

La energía tiene diferentes formas, entre las cuales se pueden citar las de mayor importancia:

- Energía cinética: la de un objeto en movimiento como por ejemplo, el agua de un río. La velocidad y masa del objeto determinan, en gran parte, la cantidad de su energía cinética. Cuanto más rápido fluye el agua, más energía estará disponible.
- Energía potencial: la de la posición de un objeto con respecto relativo de la tierra. Esta forma está almacenada y se convierte en energía cinética cuando el objeto desciende. Por ejemplo, el agua en un embalse tiene el potencial de disminuir y, cuanto más alta la presa, más energía potencial contiene el agua.
- Energía térmica (calor): una forma de energía cinética causada por el movimiento de los átomos o las moléculas en un material, sea sólido, gaseoso o líquido. Su cantidad es determinada por la temperatura del material, cuanto más alta la temperatura, más energía está disponible. Por ejemplo, en la combustión de madera u otros materiales se genera calor.
- Energía química: la almacenada en átomos y moléculas; por ejemplo, en materiales combustibles y baterías (acumuladores).
- Energía eléctrica: más conocida como electricidad; es el flujo de los electrones en un material conductivo, como un cable eléctrico.
- Energía electromagnética (radiación): la que todos los objetos emiten en diferentes cantidades. La luz es una forma visible de radiación.
- Energía mecánica (o energía rotacional): la de rotación de un eje girando. Esta se produce, por ejemplo, en una turbina hidráulica impulsada por el agua.





Conceptos básicos de energía

Transformación de energía

“Utilizar” la energía significa transformar una forma de ella en otra. Por ejemplo, aprovechando la fuerza del viento se convierte la energía cinética en mecánica, la cual, luego se puede convertir en eléctrica. Para obtener iluminación, se convierte la eléctrica en electromagnética o radiación.

Igualmente, “generar” energía significa convertir una forma de ella en otra; por ejemplo, la cinética de agua en movimiento, a mecánica; en un sistema hidráulico.

Los términos “utilizar” y “generar” energía científicamente no son correctos porque ella no se puede crear ni destruir. Se puede transformar de una forma a otra, pero no se “gasta” y su cantidad total se mantiene igual en cualquier proceso. Lo anterior es la base de la Primera ley de la termodinámica. Sin embargo, en términos prácticos sí se gasta la energía, debido a que se convierte en una forma que ya no se puede aprovechar. Por ejemplo, cuando se quema una rama seca, la energía química contenida en la madera se convierte en térmica, o sea, en calor, la cual se puede aprovechar; pero luego se dispersa en el ambiente y no se puede utilizar nuevamente.

Oferta, demanda y consumo

En el análisis de la utilización de energía en el nivel nacional o sectorial se pueden distinguir tres conceptos:

- Oferta de energía: se requiere de ella para aplicaciones como iluminación, cocción, procesos industriales y transporte. La oferta energética puede ser diferente de un lugar a otro, dependiendo de condiciones locales como el clima y las costumbres, y según los diferentes tipos de usuarios (viviendas, industrias, transporte, etc). Se puede satisfacer una necesidad específica de energía con diferentes fuentes e, igualmente, no todas las necesidades se pueden satisfacer por falta de fuentes o presupuesto.
- Demanda por energía: necesidad de fuentes que puedan satisfacer las necesidades de energía. Depende de factores como población, nivel de desarrollo económico, disponibilidad de tecnología, etc. Igual a éstas, no siempre se puede satisfacer la demanda por energía.
- Consumo de energía: utilización real de fuentes; también llamada “demanda expresada”.

Eficiencia

En todas las transformaciones de energía, se pierde una parte de ella debido a su conversión parcial en una forma que no se puede aprovechar, generalmente en calor. La fracción de la energía utilizable, como resultado de un proceso de conversión y su insumo, se llama la eficiencia del proceso, la cual, generalmente, se representa como un porcentaje. En fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{egreso de energía utilizable}}{\text{insumo de energía}} \times 100\%$$

Cuanto más alta sea la eficiencia, menos energía se pierde. La siguiente tabla muestra eficiencias típicas para algunos procesos de conversión:



Conceptos básicos de energía



Eficiencias típicas de procesos de conversión energética

Equipo	Eficiencia típica (%)
Motor de diesel	30 - 45
Motor eléctrico	80 - 95
Turbina hidráulica	70 - 99
Bombillo eléctrico incandescente	5
Estufa de LPG	60 - 70
Estufa de leña	12 - 30

Potencia

Este es un concepto muy relacionado con el de energía. Se define como la capacidad de suplir una cierta cantidad de energía durante un período de tiempo definido. Esto se ilustra así: cuando aplicamos un proceso de conversión de energía, estamos interesados en dos cosas:

- la cantidad de energía convertida, y
- la velocidad a la cual se convierte. Esta velocidad se llama potencia (P), expresada como energía por segundo o, en fórmula, de la siguiente manera:

$$\text{energía} = \text{potencia} \times \text{tiempo} \quad \text{ó} \quad \text{potencia} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$$

Por ejemplo, un tanque de gasolina de un vehículo contiene una cantidad dada de energía. Este se puede usar en un cierto período de tiempo, o sea, el proceso de combustión puede ser corto o largo. Cuanto más corto el período, más alta es la potencia. Este principio aplica para cualquier proceso de conversión de energía.

Si bien, en lenguaje común estos términos se intercambian frecuentemente cuando se habla técnicamente sobre un sistema de generación o utilización de energía, es importante distinguirlos bien.

Unidades de medición

Existen diferentes unidades aplicadas para la expresión cuantitativa de energía y potencia. La unidad científica y más usada para energía es el **Joule** (o julio, abreviado como J). Otras unidades usadas son, por ejemplo calorías, toneladas de carbón equivalente (Tce) y el British Thermal Unit (BTU). Existen factores específicos para convertir las diferentes unidades en otras.

La unidad para potencia es el **Watt** (o vatio, abreviado como W). Este es definido como el Joule por segundo ("J/s"). Otra unidad que se usa frecuentemente es el caballo de fuerza (HP).

Un Joule y un Watt son medidas muy pequeñas comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por eso, se usan múltiplos de 1.000; por ejemplo, 1.000 watt es equivalente a 1 kilowatt o 1 kW. La siguiente tabla resume los prefijos y símbolos usados:

Símbolo	Prefijo	Multiplicador
k	kilo	1.000 ó 10^3
M	mega	10^6
G	giga	10^9
T	tera	10^{12}





Conceptos básicos de energía

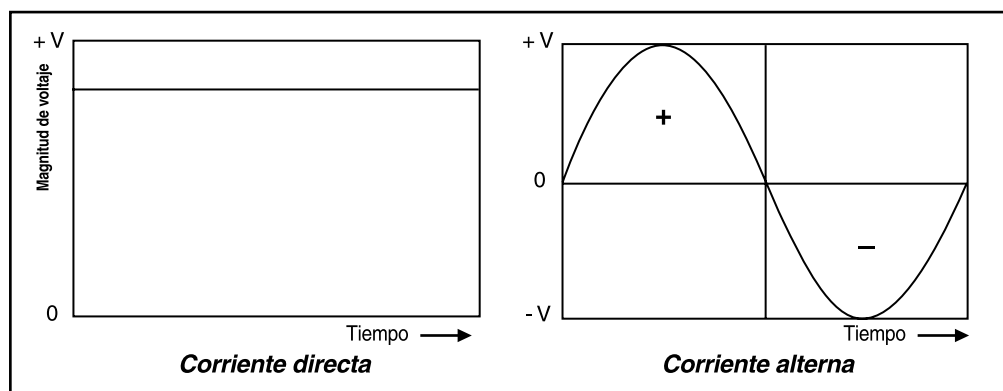
Adicionalmente, se pueden agregar índices a una unidad para indicar la forma de energía o potencia. Por ejemplo, para la potencia de un equipo de convertir energía térmica se usa kW_{th} . Igualmente, la potencia eléctrica se indica como kW_{el} y, la potencia mecánica como kW_{m} .

2. Electricidad

Corriente eléctrica

El flujo de la energía eléctrica o de la electricidad se llama corriente, cuya unidad de medida son los amperios (A). Para generar una corriente eléctrica a través de un cable es necesario tener una “diferencia de tensión” entre sus dos extremos (diferencia de potencial). Igualmente, si se quiere hacer que el agua se mueva a través de un tubo, necesita tener una diferencia de presión entre los dos extremos del mismo. Si se dispone de una gran diferencia de tensión, pueden transportarse grandes cantidades de energía por segundo a través del cable; es decir, grandes cantidades de potencia. La tensión eléctrica es equivalente a voltaje, medido en voltios (V). La potencia eléctrica en watts es igual al voltaje multiplicado por el amperaje ($P = V \times A$).

Los generadores eléctricos pueden producir dos tipos de corriente:



- Corriente directa (DC): donde la energía circula siempre en una única dirección, del punto positivo al negativo.
- Corriente alterna (AC): donde esta alterna continuamente su dirección en un patrón cíclico, en forma sinusoidal. Es causado por el ciclo sinusoidal del voltaje, con un pico positivo y uno negativo (véase la figura). Al número de ciclos por segundo se le llama frecuencia, expresado en **hertz** (Hz). En la red eléctrica, generalmente, es de 50 ó 60 Hz.

La corriente directa se utiliza sólo en sistemas de baja capacidad como por ejemplo: baterías secas (pilas), baterías de vehículos y sistemas fotovoltaicos (de baja tensión). Sistemas grandes de alta tensión, como las centrales eléctricas, generan corriente alterna, la cual es suministrada a través de la red eléctrica a las viviendas y centros productivos. Una de las razones para el uso de la corriente alterna es que es más barato aumentar o disminuir su voltaje y, cuando se desea transportar a largas distancias, se tendrá una menor pérdida de energía si se utiliza la alta tensión. Con un inversor se puede transformar la corriente directa en alterna.





Conceptos básicos de energía

Para expresar la cantidad de energía eléctrica o electricidad, generalmente, se usa la unidad watt/hora (o vatio/hora, Wh). Un watt/hora es equivalente a la cantidad de energía convertida, durante una hora por un equipo con una potencia de 1 watt. Para sistemas de baja tensión, como los fotovoltaicos, también se puede expresar la energía eléctrica en amperios/hora (Ah), equivalentes a la generación o utilización de una corriente de 1 amperio durante una hora. Para baterías, generalmente se indica la capacidad de acumulación en amperios/hora. La relación entre las dos unidades de energía eléctrica es la siguiente:

$$Wh = V \cdot Ah \quad \text{donde } V \text{ es la tensión o el voltaje del sistema.}$$

Factor de capacidad (factor de planta)

El factor de capacidad o de planta, es un indicador para medir la productividad de una planta de generación eléctrica como por ejemplo, una turbina eólica o un sistema hidroeléctrico. Este indicador compara su producción real, durante un período dado, con la cantidad que se habría producido si hubiese funcionado a plena capacidad en el mismo tiempo. En fórmula:

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción teórica}} \times 100\%$$

Por ejemplo, un sistema de 1 kW, teóricamente, podría generar 8.760 kWh en un año. Sin embargo, la planta no puede funcionar el 100% del tiempo, por razones de mantenimiento periódico, fallas técnicas o falta de combustible o recurso renovable. Si la producción real de esta planta en un año dado fue de 6.000 kWh; entonces, el factor de capacidad para ese período sería de 68,5%.

Demanda máxima

La demanda máxima representa para un instante dado, la máxima coincidencia de cargas eléctricas (motores, compresores, iluminación, equipo de refrigeración, etc.) operando al mismo tiempo, es decir, la demanda máxima corresponde a un valor instantáneo en el tiempo, medido en unidades de potencia. No es igual encender una línea de motores al mismo tiempo que hacerlo en arranque escalonado. Los picos por demanda máxima se pueden controlar evitando el arranque y la operación simultánea de cargas eléctricas.

Factor de demanda

Es la razón entre la demanda máxima de la instalación o sistema y la carga total conectada en un instante de tiempo determinado.

El factor de demanda máximo es igual a la razón de la demanda máxima en un instante dado, entre la potencia del sistema.

Sistema interconectado de generación eléctrica

Se usan diferentes fuentes para la generación de electricidad, en América Central. Las principales son: la hidroeléctrica y la geotermia y los combustibles fósiles, como el diesel y el búnker.

Dentro del sistema interconectado nacional, la demanda varía dependiendo de la hora del día, el día de la semana y, la temporada. Para atender la demanda, se debe planificar la generación eléctrica por parte de las diferentes plantas del sistema, según las variaciones esperadas. Las plantas de generación de base operan



Conceptos básicos de energía



en forma continua para satisfacer una demanda mínima y generalmente, son las que tienen los costos de operación más bajos.

Para las horas de alto consumo u “horas-pico”, se aplican generadores adicionales para aumentar la producción de electricidad. En el mercado de ocasión eléctrico, se pagan tarifas mayores en estas horas.

Para la compra-venta de energía eléctrica, frecuentemente se aplica el término “potencia firme” de una planta de generación dada. Esta se define como la potencia que el generador puede garantizar durante un periodo dado; por ejemplo, en las “horas-pico” o todo el año. Los contratos de compra y venta de electricidad, generalmente, se establecen con base en la capacidad firme. Dado que las fuentes renovables dependen de los recursos naturales, la potencia firme puede ser considerablemente más baja que la capacidad instalada, lo cual desfavorece su competitividad en el mercado eléctrico, a diferencia de la generación con base en combustibles fósiles que pueden operar ofreciendo “potencia firme” en cualquier momento, excepto en los tiempos de parada por mantenimiento.

Magnitudes de energía y potencia

Energía:

- 1 kWh Energía requerida para subir la temperatura de 1 litro de agua con 1 grado.
- 1 MWh Energía requerida para manejar 1 vehículo por 1.000 kilómetros.
- 4.7 TWh Electricidad consumida en un período de tiempo; por ejemplo, la electricidad en Guatemala en 1999.

Potencia:

- 1 kW Potencia de una placa de una estufa eléctrica.
- 10 kW Potencia de un pequeño tractor.
- 1 MW Potencia de una central eléctrica que suple electricidad a una comunidad de unas 20.000 personas.

¹Energía = potencia x tiempo, entonces la energía generada sería 1 kW x 24 horas/día x 365 días = 8,760 kWh



Anexo 4. Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica

I. Turbinas hidráulicas

La turbina hidráulica es el componente principal de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía contenida en el agua, en energía mecánica. Comparada con una rueda de agua, una turbina hidráulica logra mayores velocidades rotacionales y eficiencias de conversión que la hace más apropiada para la generación de electricidad. Existen diferentes tipos de turbinas. El tipo más apropiado para un proyecto depende de las condiciones topográficas e hidrológicas del sitio, siendo el caudal y caída las más importantes. Se distinguen turbinas de reacción y acción.

Turbinas de reacción

En este tipo de turbina, el elemento de rotación o estator está totalmente sumergido en el agua y encerrado en una caja de presión. El flujo del agua sobre las aspas causa diferencias de presión del agua que hacen girar al estator.

La velocidad de rotación de las turbinas de reacción en comparación con turbinas de acción y bajo las mismas condiciones de caudal y caída, es alta. Esto hace que una turbina de reacción muchas veces se pueda acoplar directamente al generador sin necesidad de un sistema que incremente la velocidad. Algunos fabricantes producen combinaciones de turbina y generador, lo cual ayuda a disminuir el costo y simplifica el mantenimiento.

La fabricación de turbinas de reacción es más sofisticada que las turbinas de acción porque tiene aspas más grandes y perfiladas. El costo adicional de producción se compensa con una mayor eficiencia y un simple mantenimiento. La fabricación más complicada hace que estas turbinas sean menos atractivas para sistemas nano- y micro-hidro.

Francis: Es la turbina más aplicada en centrales grandes. Se caracteriza por que recibe el flujo de agua en dirección radial, orientándolo hacia la salida en dirección axial. Es más conveniente usar esta turbina cuando los saltos de agua están entre 15 y 150 mts. Estas tienen una eficiencia de conversión entre el 90 y 94%.

Kaplan: Es una turbina de tipo hélice. Se compone básicamente de una cámara de entrada que puede ser abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con cuatro o cinco palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración. Se puede usar esta turbina para caudales grandes y saltos de agua menores de 50 mts. Las turbinas tipo Kaplan se consideran con eficiencia del 93-95%.

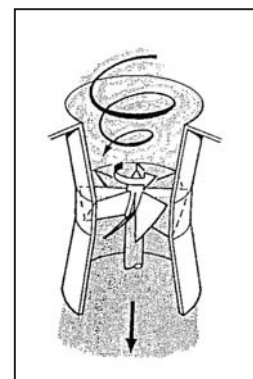


Figura 1. turbina de reacción.
(fuente: Fraenkel, 1991)

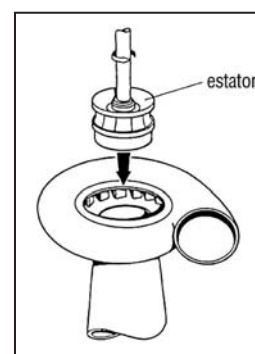


Figura 2. Turbina "Francis"
(fuente: Fraenkel, 1991)

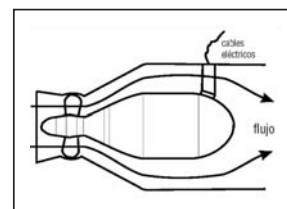


Figura 3. Turbina "Kaplan"
(fuente: ESHA, 1998)

Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica



Turbinas de acción

El estator de una turbina de acción opera en aire y se propulsa por la energía cinética del agua que lo impacta a alta velocidad, provocada por uno o más chorros de agua. El agua está a presión atmosférica antes y después del contacto con el estator, por lo tanto sólo se necesita una cubierta para controlar el chapoteo del agua y prevenir accidentes. Este tipo de turbina es muy apropiada para sitios con pequeños caudales y grandes caídas, un escenario común para proyectos micro-hidro.

En comparación con la turbina de reacción, la de acción es más económica, de simple fabricación y mantenimiento, asimismo es menos susceptible a daños por la arena u otros materiales en el agua. Sin embargo, tiene menor eficiencia, gira a velocidades menores y no es muy apropiada para sitios con caídas bajas.

Pelton: Este es el tipo de turbina de acción más común. Consta de un disco circular que tiene montados en su periferia unas paletas en forma de doble cuchara y de un inyector que dirige y regula el chorro de agua que incide sobre las cucharas, y que provoca así el movimiento de giro de la turbina. Se usa cuando la caída de agua es grande (alrededor de 80 mts). La eficiencia está entre el 84 y 92%.

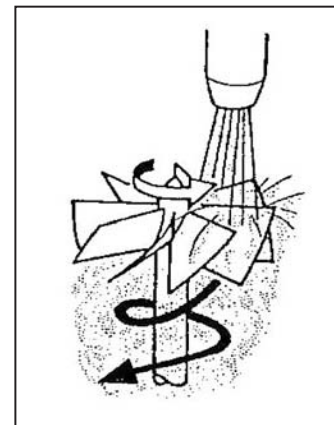


Figura 4. Turbina de acción
(fuente: Fraenkel, 1991)

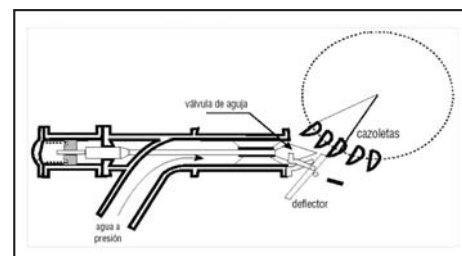


Figura 4. Turbina “Pelton”
(fuente: ESHA, 1998)

De flujo cruzado: también conocida como de doble impulsión o Michael-Banki. Constituida principalmente por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica, con múltiples palas soldadas por los extremos a discos terminales. Se usa para caídas bajas y medianas (10 – 80 mts). La eficiencia se considera que alcanza del 70 al 80%.

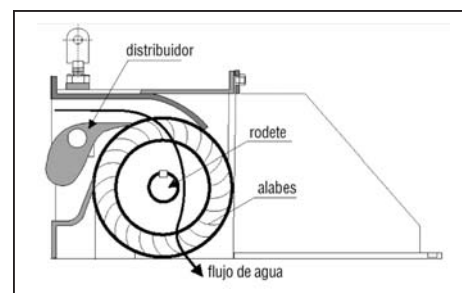


Figura 6. Turbina de flujo cruzado o “Banki”
(fuente: ESHA, 1998)

Bomba en reversa como turbina

Como alternativa de bajo costo y conveniente, se puede usar una bomba de agua industrial, instalada en reversa, como turbina, en particular cuando el caudal es relativamente constante. Las bombas se pueden conseguir fácilmente en muchos lugares y son más económicas porque se producen a una escala mayor que las turbinas. Sin embargo, tienen eficiencias más bajas.

La aplicación de una bomba como turbina es más apropiada en sitios con caídas medianas. Para sistemas menores de 10 kW y caídas de menos de 30 metros, el uso de una bomba puede ser significativamente menos costosa que una turbina Pelton o Banki.



Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica



II. Identificación del potencial para generación hidroeléctrica

La potencia de una instalación hidroeléctrica está en función de las siguientes variables o condiciones:

- el caudal del río o la cuenca o sea la cantidad de agua pasando en un periodo fijo, generalmente medido en metros cúbicos por segundo (m^3/s);
- la caída, o la diferencia en altura entre la toma de agua y la turbina;
- las pérdidas por fricción entre la toma de agua y la turbina;
- la eficiencia de la turbina y el generador.

El caudal puede variar considerablemente a lo largo del año, por lo que es necesario conocer la magnitud del caudal durante ese periodo para poder así fijar la potencia. Para proyectos grandes se debe conocer los datos de varios años anteriores, en el caso de proyectos pequeños, primero se debe determinar la necesidad de energía y potencia eléctrica para definir la necesidad de caudal y luego verificar si el río puede abastecer el flujo requerido.

A continuación, se mencionan los elementos de análisis por considerar en la identificación del potencial hidroenergético en pequeña escala aprovechable para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica.

Disponibilidad de recursos hidroenergéticos:

1. Apreciación cualitativa de:

- Precipitaciones e hidrología (caudal).
- Terreno (saltos).
- Características geológicas y geomorfológicas cualitativas del territorio (estudios geotécnicos que incluya un análisis de estudios de suelos y estudio de la forma de la corteza terrestre o geomorfología).
- Accidentes geográficos (fallas, zonas de deslizamiento, otros).

2. Estimación (si fuera posible) del orden de magnitud del potencial total de la cuenca

3. Análisis por zonas o regiones.

Como parte del análisis se debe hacer una evaluación del medio físico, es decir el conocimiento de las condiciones naturales del medio; se deben analizar los indicadores meteorológicos y las características físicas de toda la cuenca. Lo ideal sería contar con registros históricos de caudales provenientes de una estación hidrométrica, aunque existen metodologías especiales para los casos en que se desarrollen proyectos en una zona en que no se dispone de ningún tipo de registro hidrometeorológico.

Para nano- y micro-centrales usualmente se analizan caudales menores a $2 m^3/seg$ y los estudios no deben ser muy exhaustivos. En el caso de mini y pequeñas centrales, los caudales deben tener mayores rangos.

Ubicación de los recursos hídricos con respecto de la demanda:

- Considerar que el aprovechamiento hídrico para pequeñas centrales aisladas debe ser próximo al punto de demanda.
- Evaluar potencial en zonas próximas a la demanda.

Los costos de distribución de la energía producida deben equilibrarse con los costos de producción, por lo que se debe seleccionar para el emplazamiento de las obras un sitio que se ubique cerca de zonas con demanda de electricidad.



Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica



Accesibilidad de los recursos disponibles:

- Vías de comunicación.
- Condiciones del clima.
- Salubridad de la zona y del agua del río.

Como parte del estudio de un proyecto a pequeña escala, se deben realizar visitas a los lugares de emplazamiento de las obras para identificar el mejor sitio para el desarrollo del aprovechamiento del recurso hidráulico y determinar la ubicación de los componentes de las obras: tubería de presión, sala de máquina, obras de bocatoma, etc.

Además, se deben determinar los accesos de que dispone la zona para planificar los recursos disponibles y evitar destinar fondos en planes de infraestructura vial. Es por ello conveniente que se determinen distancias y estado de los caminos.

Perspectivas de uso múltiple:

- Riego, aprovechamiento de canales existentes.
- Aprovechamiento de presas existentes.
- Proyectos múltiples (riego y energía).

En el diseño de cualquier proyecto pequeño de generación eléctrica se debe considerar la posibilidad de desarrollar actividades paralelas, ya sea económicas como el riego de terrenos fértiles o de recreación, así como el aprovechamiento de infraestructuras existentes (canales, presas, etc.) con actividades productivas.

Cálculo de la potencia por instalar

Definido el caudal por utilizar en la unidad generadora y con la caída neta disponible, se puede calcular la potencia hidráulica estimada en kilovatios, de la siguiente forma:

$$P_H = \gamma * H * Q \text{ [kW]}$$

Donde:	PH:	potencia hidráulica
	γ :	peso específico del agua (9,8).
	H:	caída o salto vertical entre la toma de agua y la turbina (en metros).
	Q:	flujo o caudal de agua (metros cúbicos por segundo).

Sin embargo, para determinar la potencia del equipo de generación se debe ponderar la potencia hidráulica por las eficiencias de los procesos de transformación de energía, a saber:

- Energía de presión disponible a la entrada de la turbina: al salto o caída total se le deben restar las pérdidas por las tuberías a presión y así se obtiene la caída neta (HN) o la caída aprovechable por la turbina.
- Transformación de la energía hidráulica a mecánica: se debe considerar la eficiencia de la turbina hidráulica (h_t).
- Transformación de energía mecánica a energía eléctrica, se debe considerar la eficiencia del generador eléctrico (h_{ge}).
- Se tiene una pequeña pérdida adicional si el acople entre la turbina y el generador eléctrico no es directo y requiere usar poleas o cajas reductoras.



Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica



Por lo tanto, la potencia de salida de un generador en kilovatios se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$P_{ge} = 9.8 * H_N * Q * \eta_t * \eta_{ge} \quad [kW]$$

Donde:

- P_{ge} : potencia de generación.
- H_N : caída aprovechable por la turbina (metros de distancia vertical).
- Q : flujo o caudal de agua (metros cúbicos por segundo).
- η_t : eficiencia de la turbina hidráulica.
- η_{ge} : eficiencia del generador eléctrico.

III. Determinación de la demanda

El análisis de la demanda constituye la pieza fundamental para dimensionar el proyecto que se someterá a la evaluación económica y social. En el caso de los pequeños proyectos hidroeléctricos, esta parte del proceso es crucial por la incertidumbre que se presenta en cuanto a la magnitud de los mismos. De hecho, por su naturaleza, están destinados a ubicarse, generalmente, en zonas donde es difícil obtener información básica para el cálculo de la demanda de energía.

Clasificación y características de la demanda

En forma general, la demanda puede ser clasificada en residencial, comercial, industrial y pública. La demanda residencial es el uso de energía en los domicilios para cubrir las necesidades de la vida cotidiana y depende de los siguientes valores: número de abonados, número de personas que comparten el uso de la energía con el abonado, tiempo transcurrido desde la instalación del servicio, consumo de energía per capita y tamaño de la población.

La demanda comercial se refiere al consumo de energía de almacenes, tiendas, mercados, restaurantes y otros locales destinados a brindar servicios particulares a los habitantes de la zona. La demanda industrial sirve para cubrir las necesidades de la fabricación y procesamiento de diferentes artículos. La demanda pública se destina principalmente a la iluminación de calles, centros educativos, edificios u oficinas públicas, pero puede incluir también ciertas necesidades comunales especiales como plantas de agua potable, talleres de enseñanza y otros.

Evaluación y pronóstico de la demanda

El planeamiento de la expansión o implementación de un sistema eléctrico debe comenzar con la evaluación de la demanda presente y un pronóstico de la futura, tanto en lo que se refiere a potencia como a energía. Con base en esta evaluación, debe determinarse la capacidad de los sistemas de generación, transmisión, distribución y el tipo de instalaciones requeridas.

Para la evaluación de la demanda se consideran los siguientes casos:

- Cuando se ha tenido servicio eléctrico por algún tiempo y se cuenta con los registros de consumo correspondientes, se debe establecer el porcentaje de población que la usa y el consumo en kWh y kW por habitante actual.
- Las necesidades futuras globales se calculan estimando el número de pobladores, expresado como porcentaje del total, que irán incorporándose a la utilización de energía durante la vida útil del proyecto que puede establecerse entre 15 - 20 años o al período de tiempo en que se pueda esperar la interconexión con un sistema regional o nacional.



Algunos aspectos técnicos de la energía hidroeléctrica



· El número de habitantes debe multiplicarse por el consumo por habitante, asumiendo un incremento anual probable en el mismo período debido a la elevación del nivel de vida.

En numerosos casos, la población carece del servicio eléctrico y por lo tanto se dispone solamente de información demográfica. En estas situaciones se deben establecer valores para clasificar los tipos de consumo (categorías) y proyectar a futuro las necesidades y crecimiento de cada uno de ellos.

La Figura 7 muestra un esquema del proceso de la estimación de la demanda eléctrica en una comunidad aislada.

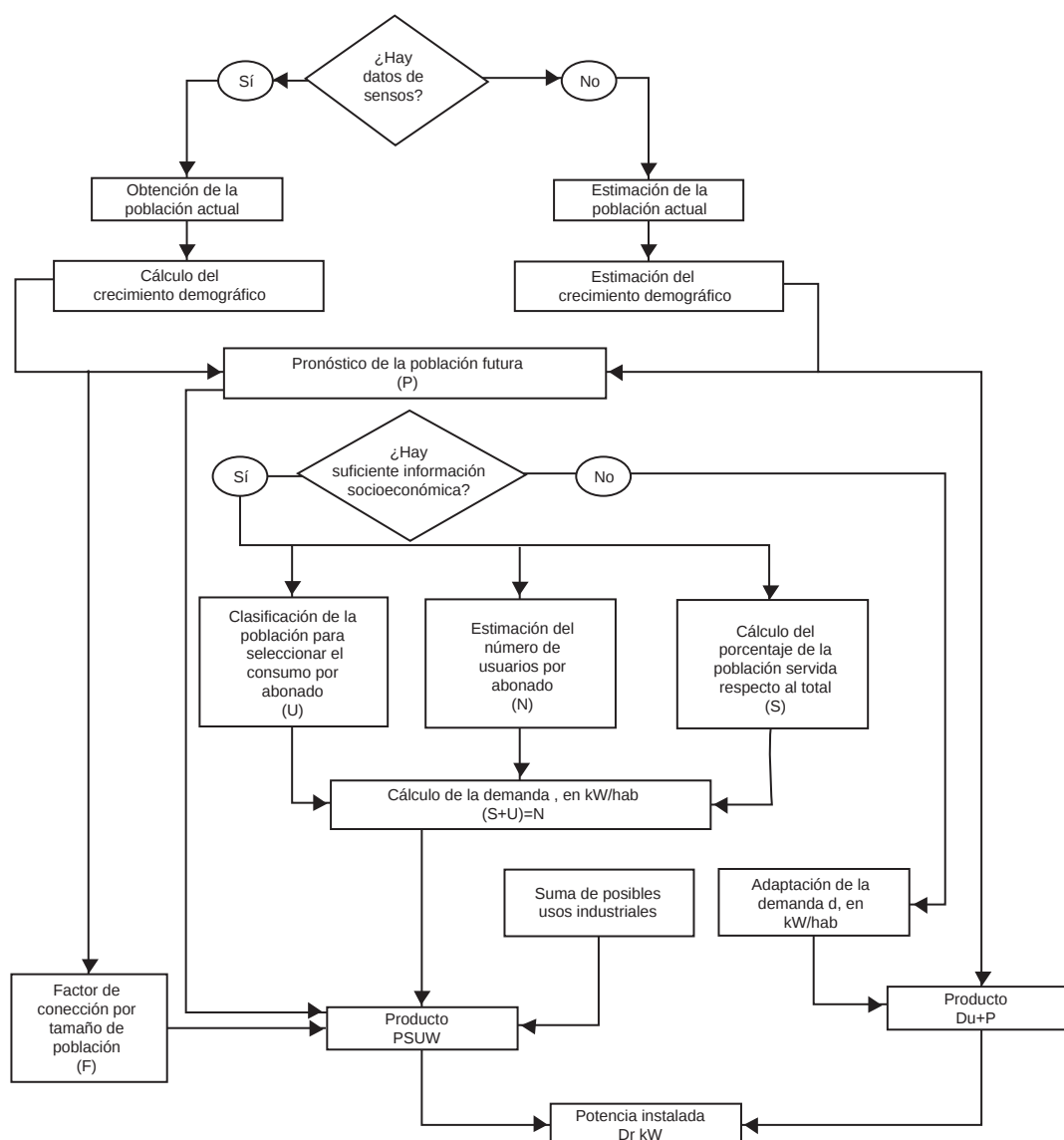


Figura 7. Secuencia de cálculos recomendada para la evaluación de la demanda.

Fuente: Guía para la realización de inventarios de pequeñas cuencas, pág 45.



Esta publicación se enmarca dentro de los esfuerzos llevados a cabo en la región de América Central por la Oficina Regional para Centroamérica de Biomass Users Network (BUN-CA) que ha ejecutado, en el período 2000 - 2002, la iniciativa regional "Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central" (FOCER), junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como agencia de implementación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF).

La iniciativa FOCER tiene como objetivo la remoción de las barreras que enfrenta la energía renovable, a través del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, seminarios y talleres de capacitación y la asistencia a gobiernos en el desarrollo a políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

BUN-CA es una organización regional no gubernamental, que busca contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad de América Central para aumentar su producción por medio del uso sostenible de los recursos naturales, como medio para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, especialmente en las áreas rurales. El accionar de BUN-CA se enfoca en tres áreas temáticas: energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

Manuales sobre energía renovable

HIDRÁULICA a pequeña escala



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



FOCER Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central

BUN-Centro América / Apartado Postal 573-2050 / San José, Costa Rica

Tel. (506) 283-88-35 / Fax. (506) 283-8845

Correo electrónico: bun-ca@bun-ca.org / biomass@racsa.co.cr

Sitio web: <http://www.bun-ca.org>