

***Ministerio de Energía y Minas***  
***República del Perú***

**Estudio del Plan Maestro  
de Electrificación Rural  
con Energía Renovable  
en la República del Perú**

**Volumen 3**  
**Material Educativo**

**Informe Final**

**Agosto 2008**

**Agencia de Cooperación Internacional de Japón**

**Electric Power Development Co., Ltd.**  
**Nippon Koei Co., Ltd.**

## **Prefacio**

En respuesta a una solicitud del Gobierno de la República del Perú, el Gobierno de Japón ha decidido conducir un Estudio del Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Renovable en la República del Perú y acreditar el estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón(JICA).

A los efectos de la ejecución del Estudio, JICA organizó el Equipo de Estudio conformado por las empresas consultoras Electric Power Development Co., Ltd. (J-Power) y Nippon Koei, Co., Ltd., encabezado por el Sr. Tetsuro TANAKA de J-POWER, que fue despachado a Perú entre los meses de febrero de 2007 y agosto de 2008.

El equipo llevó a cabo discusiones con los funcionarios públicos relacionados al Gobierno del Perú, y condujo una investigación de campo en el área de estudio. Luego del retorno del equipo de estudio a Japón, se realizaron estudios posteriores y se preparó el informe final.

Espero que este informe contribuya a la promoción del proyecto y al enriquecimiento de las relaciones amistosas entre los dos países.

Finalmente, deseo expresar mi más sincero agradecimiento y apreciación a los funcionarios públicos relacionados al Gobierno de la República del Perú por su atenta y extensiva colaboración al equipo.

Agosto 2008

Seichi NAGATSUKA,  
Vicepresidente  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

Agosto de 2008

Sr. Seiichi Nagatsuka  
Vice Presidente  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón

## **Carta de Transmisión**

Por medio de la presente, nos agrada mucho someterles a Uds. el Informe Final del “Estudio del Plan Maestro de Electrificación Rural con Energía Renovable en la República del Perú”. Bajo el contrato con su estimada organización, el Estudio fue llevado a cabo por Electric Power Development Co., Ltd. y Nippon Koei Co., Ltd. desde febrero de 2007 hasta agosto de 2008.

Este Informe Final compila un plan maestro para electrificación rural por energía renovable (energía solar y energía hidroeléctrica a mini-escala) en pueblos remotos difíciles de electrificación con ampliación de red, esparcidos principalmente en los Andes y el Amazonas del Perú. El Plan Maestro propone proposiciones de política sobre los problemas de legal/institución, organización, financiamiento, medio ambiente e igualdad de género así como también los técnicos de energía solar, energía hidroeléctrica a mini-escala y líneas de transmisión/distribución concernientes a la promoción de electrificación rural. Asimismo, se elaboró un plan a largo plazo para electrificación de pueblos no-electrificados por energía renovable.

Es nuestro sincero anhelo que este Plan Maestro contribuya a la promoción de electrificación rural del Perú y, eventualmente, a la mitigación de pobreza y mejoramiento de la calidad de vida de habitantes de pueblos alejados del país.

Quisiéramos tomar la oportunidad de expresar nuestro sincero agradecimiento a los oficiales de JICA, del Ministerio de Asuntos Extranjeros y del Ministerio de Economía, Comercio e Industria por su dirección y soporte. Igualmente, deseamos agradecerles a los oficiales del Ministerio de Energía y Minas y otras organizaciones relacionadas del gobierno del Perú, así como también a los gobiernos regionales/locales y habitantes de pueblos donde hicimos visitas para llevar a cabo nuestras investigaciones y estudios.

Muy atentamente,

Tetsuro Tanaka  
Líder del Equipo  
Estudio de Plan Maestro de Electrificación Rural con  
Energía Renovable en la República del Perú

## CONTENIDO

VOLUMEN 3 MATERIAL EDUCATIVO.....	IV-1
IV. Material Educativo.....	IV-1
IV-1 Material Educativo.....	IV-1
IV-1.1 Video .....	IV-1
IV-1.2 Folletos para Fines Educativos.....	IV-2
IV-1.2.1 Sistema FV .....	IV-2
IV-1.2.2 Energía Hidroeléctrica Mini/micro.....	IV-14
IV-2 Manual.....	IV-35
IV-2.1 Planificación.....	IV-35
IV-2.1.1 Investigación sobre la Demanda y Consideración Social .....	IV-35
IV-2.1.2 Selección de Tipo de Energía Renovable .....	IV-39
IV-2.1.3 Procedimiento de Planeamiento .....	IV-43
IV-2.2 Organización de Gestión .....	IV-50
IV-2.3 Sistema FV .....	IV-83
IV-2.4 Mini/Micro Central Hidroeléctrica.....	IV-161
IV-2.5 Financiamiento .....	IV-323
IV-2.5.1 Fijación de la Tarifa y Aprobación de Proyectos para Subsidio .....	IV-323
IV-2.5.2 Cobro de la Tarifa y Contabilidad.....	IV-327

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico IV-2.1.2-1 Diagrama de Flujo para Selección del Tipo de Energía Renovable .....	IV-41
Gráfico IV-2.1.2-2 Comparación del Método de Electrificación.....	IV-42
Gráfico IV-2.5.1-1 Diagrama de Flujo Básico para la Fijación de la Tarifa .....	IV-325
Gráfico IV-2.5.1-2 Diagrama de Flujo de Aprobación de Proyecto por parte del SNIP .....	IV-327

Mapa del Perú



Map No. 3838 Rev. 1 UNITED NATIONS  
September 2000

Department of Public Information  
Cartographic Section

Acronyms/Acrónimos

ADINELSA	Administration Company of Electrical Infrastructure (Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica)
BCS	Battery Charging Station (Estación de Recargo de Batería)
CERER	Renewable Energy Center for Rural Electrification (Centro de Energías Renovables para Electrificación Rural)
CIRA	Certificate of Non-existence of Archaeological Relics (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos)
COES	Committee of Economical Operation of the System (Comité de Operación Económica del Sistema)
CONAM	National Council of Environment (Consejo Nacional del Medio Ambiente)
CTE	Electricity Tariff Commission (Comisión de Tarifas Eléctricas)
DEP	Executive Directorate of Projects (Dirección Ejecutiva de Proyectos)
DGER	General Directorate of Rural Electrification (Dirección General de Electrificación Rural)
DGAEE	General Directorate of Energetic Environmental Affairs (Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos)
DGE	General Directorate of Electricity (Dirección General de Electricidad)
DIGESA	General Directorate of Environmental Health (Dirección General de Salud Ambiental)
DPR	Directorate of Projects (formerly DEP) (Dirección de Proyectos)
DREM	Regional Directorate of Energy and Mines (Dirección Regional de Energía y Minas)
FONCODES	National Fund of Cooperation for Development (Fondo Nacional de Cooperación para el Desarrollo)
FONER	National Fund for Rural Electrification (Fondo Nacional de Electrificación Rural)
FOSE	Electrical Social Compensation Fund (Fondo de Compensación Social Eléctrica)
F/S	Feasibility Study (Estudio de Factibilidad)
INRENA	National Institute of Natural Resources (Instituto Nacional de Recursos Naturales)
ITDG	Intermediate Technology Development Group (Soluciones Prácticas)

Acronyms/Acrónimos

JBIC	Japan Bank for International Cooperation (Banco del Japón para Cooperación Internacional)
JICA	Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional del Japón)
MEF	Ministry of Economy and Finance (Ministerio de Economía y Finanzas)
MEM	Ministry of Energy and Mines (Ministerio de Energía y Minas)
MP	Master Plan (Plan Maestro)
OM	Operation and Maintenance (Operación y Mantenimiento)
OSINERGMIN	Supervisory Body of Investment in Energy and Mining (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería)
OPI	Planning and Investment Office (Oficina de Programación e Inversiones)
PERNC	Plan of Non-conventional Renewable Energy (Plan de Energía Renovable Non Convencional)
PNER	National Plan of Rural Electrification (Plan Nacional de Electrificación Rural)
Pre F/S	Prefeasibility Study (Estudio de Prefactibilidad)
PSE	Small Electrical System (Pequeño Sistema Eléctrico)
SENAMHI	National Meteorology and Hydrology Services of Peru (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú)
SHS	Solar Home System (Sistema Fotovoltaico Domiciliario)
SIER	Information System for Rural Electrification (Sistema de Información de Electrificación Rural)
SNIP	National System of Public Investment (Sistema Nacional de Inversión Pública)
SPERAR	Peruvian Solutions to Rural Electrification in Isolated and Frontier Areas with Renewable Energies (Soluciones Peruanas a Electrificación Rural en las Areas Aisladas y de Frontera con Energías Renovables)
UNDP/GEF	United Nations Development Program/Global Environment Facility (Programa de Naciones Unidas de Desarrollo/ Fondo para el Medio Ambiente Mundial)
VAD	Value Added for Distribution (Valor Agregado de Distribución)

## **Volumen 3 Material Educativo**

### **IV. Material Educativo**

#### **IV-1 Material Educativo**

##### **IV-1.1 Video**

El objetivo principal del Video como material educativo es brindar información integral y detallada a los usuarios finales de la población rural. El contenido incluye el sistema de suministro eléctrico, manejo, operación y mantenimiento del sistema de energía renovable y el establecimiento institucional para uso sostenible.

##### **1. Formato del Video**

El Video se han preparado en el siguiente formato.

- 1) Tiempo de grabación : 45 minutos
- 2) Formato : DVD (30 copias), CD-ROM (30 copias)
- 3) Idioma : Español

##### **2. Contenido del Video**

El siguiente es el contenido básico del Video.

- 1) Mejoramiento de la calidad de vida a través de la electricidad en las áreas rurales.
- 2) Información sobre las tecnologías de suministro de energía eléctrica existentes
- 3) Ejemplos de proyectos exitosos (sostenibles).
- 4) Aspectos económicos incluyendo la tarifa eléctrica y el costo de operación y mantenimiento.
- 5) Aspectos ambientales incluyendo el tratamiento de baterías usadas.
- 6) Información incluyendo el centro de calificación de los sistemas FV y energía eléctrica mini/micro.
- 7) Información sobre el establecimiento institucional en áreas rurales para la electrificación.
- 8) Información sobre el contenido de la capacitación para el manejo técnico.
- 9) El papel del centro de extensión para la electrificación rural.
- 10) Procedimientos para solicitar el proyecto a nivel de centro poblado.

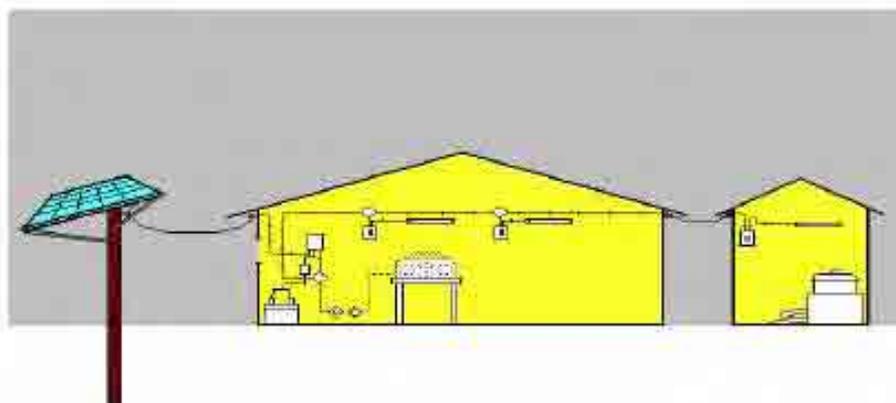
## **IV-1.2 Folletos para Fines Educativos**

### **IV-1.2.1 Sistema FV**

El uso de un sistema FV es adecuado en donde resulta difícil realizar la conexión a la red existente o desarrollar una central hidroeléctrica micro. Se requiere de una adecuada operación y mantenimiento del sistema FV por parte de los usuarios ya que la producción eléctrica del sistema FV varía según las condiciones geográficas o climáticas. En el Plan Maestro, se consideran los SFD, las ERB y el sistema FV para establecimientos públicos como escuelas rurales y postas médicas. En el manual elaborado en el presente Plan Maestro, se introducirán las ERB y el sistema FV para establecimientos públicos. Con respecto a los SFD para electrificación doméstica, se utilizarán folletos para fines educativos.

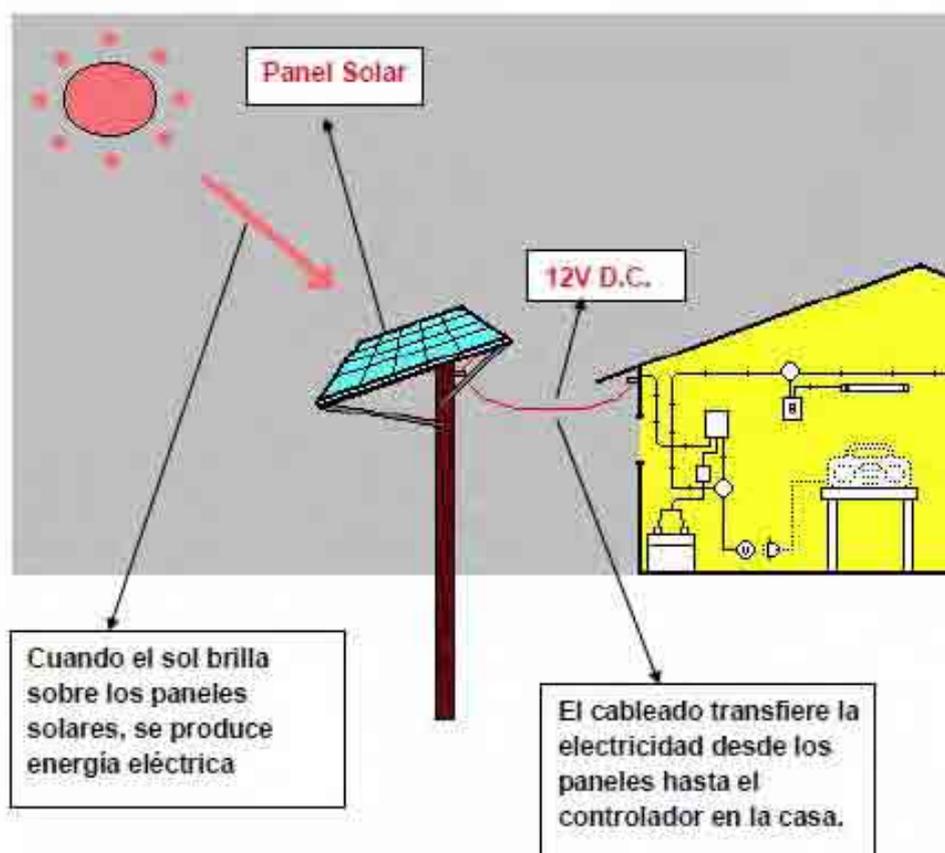
# Manual del Usuario

## Sistema solar domiciliario

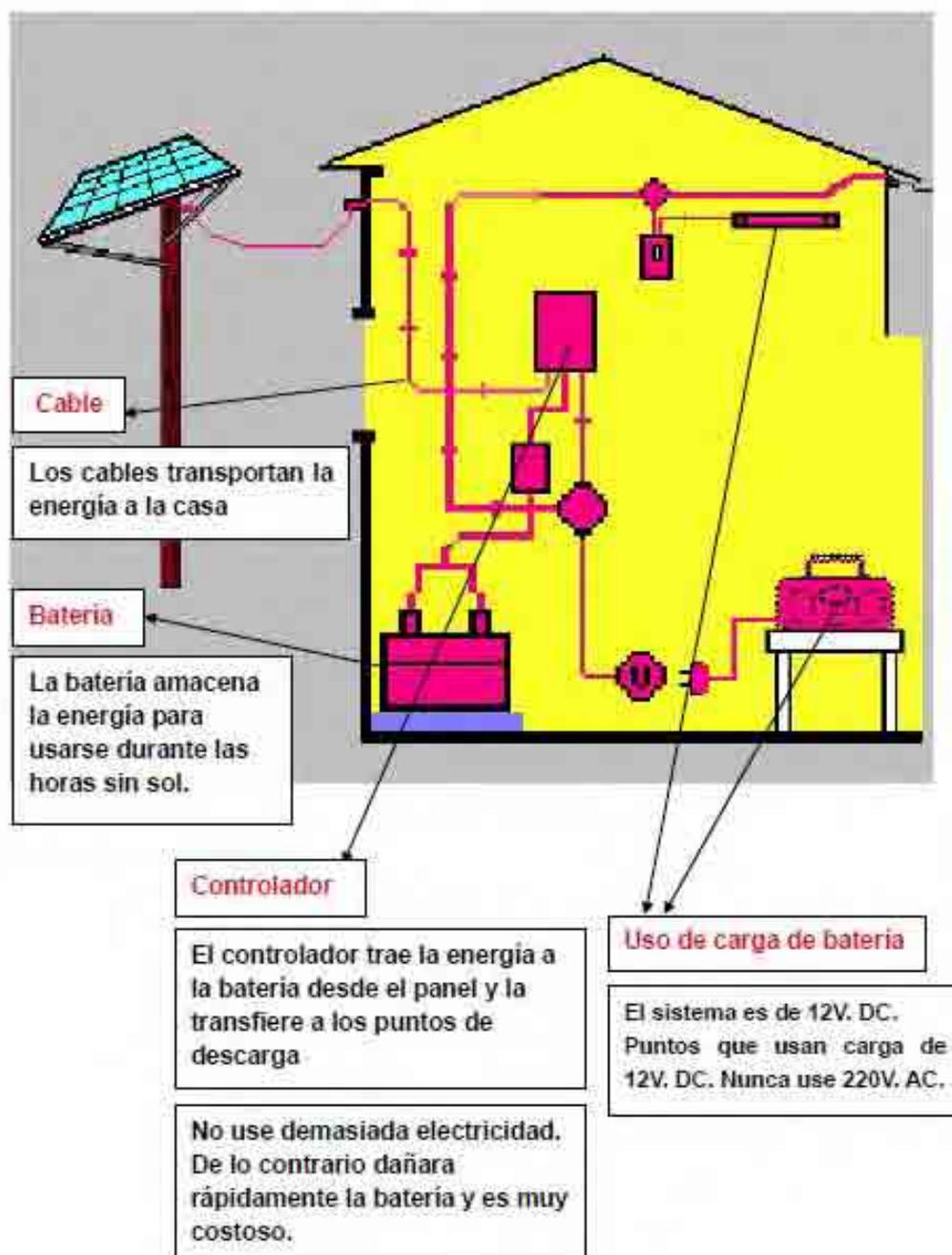


JICA Study Team

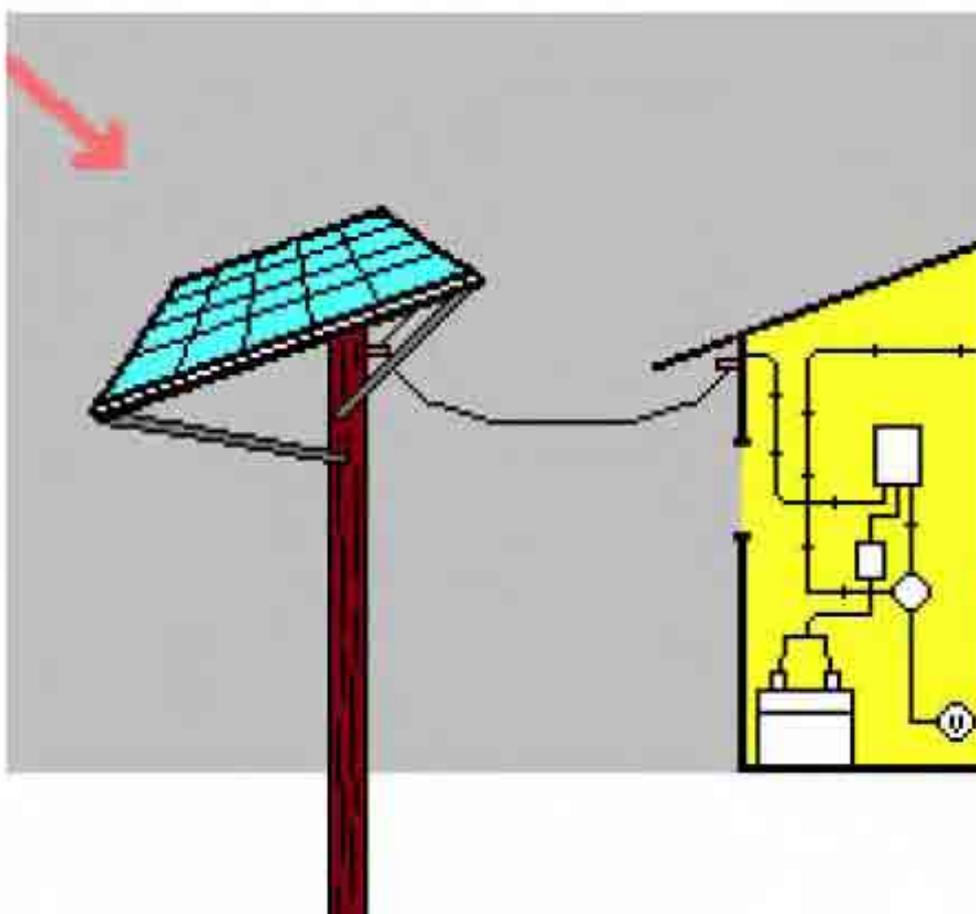
## Energía Eléctrica Solar



## Principales funciones de los equipos

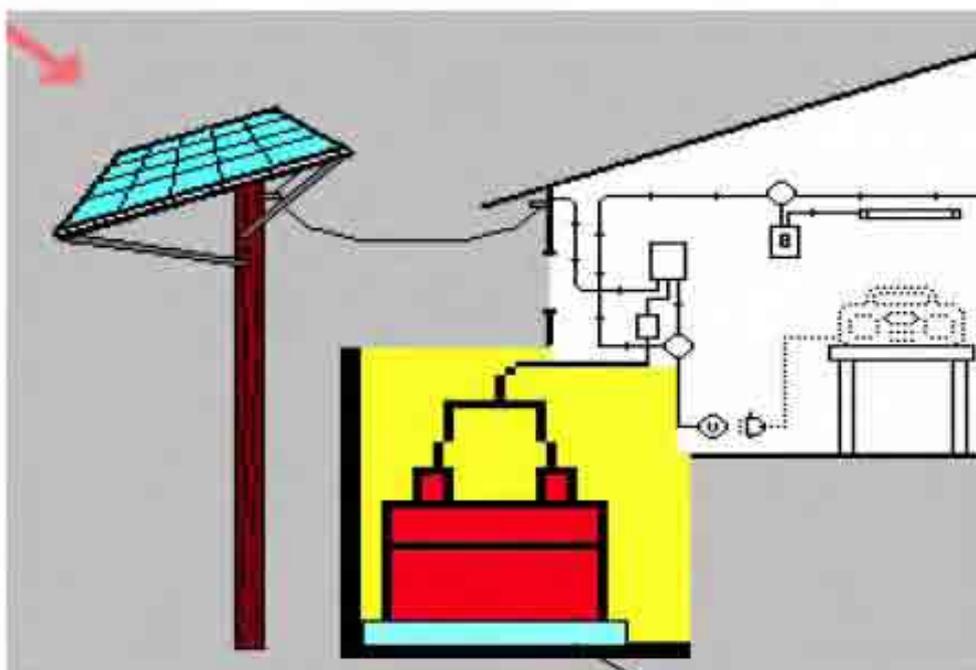


## Panel Solar = Fotovoltaico



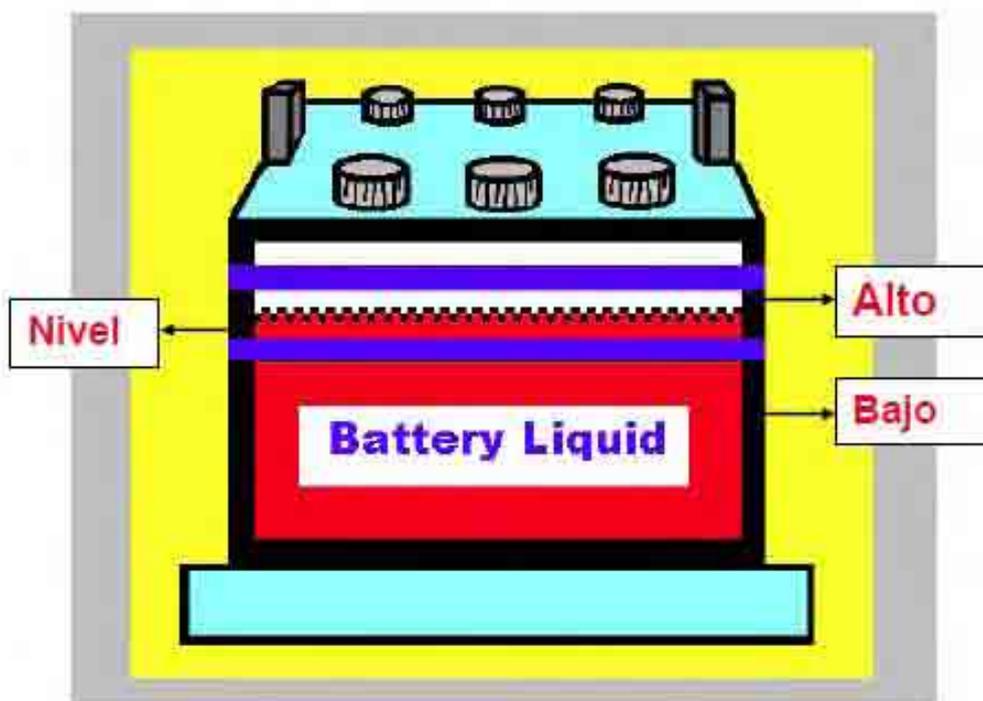
1. No mover el panel
2. No arroje piedras al Panel
3. No cuelgue nada en los cables

## Batería



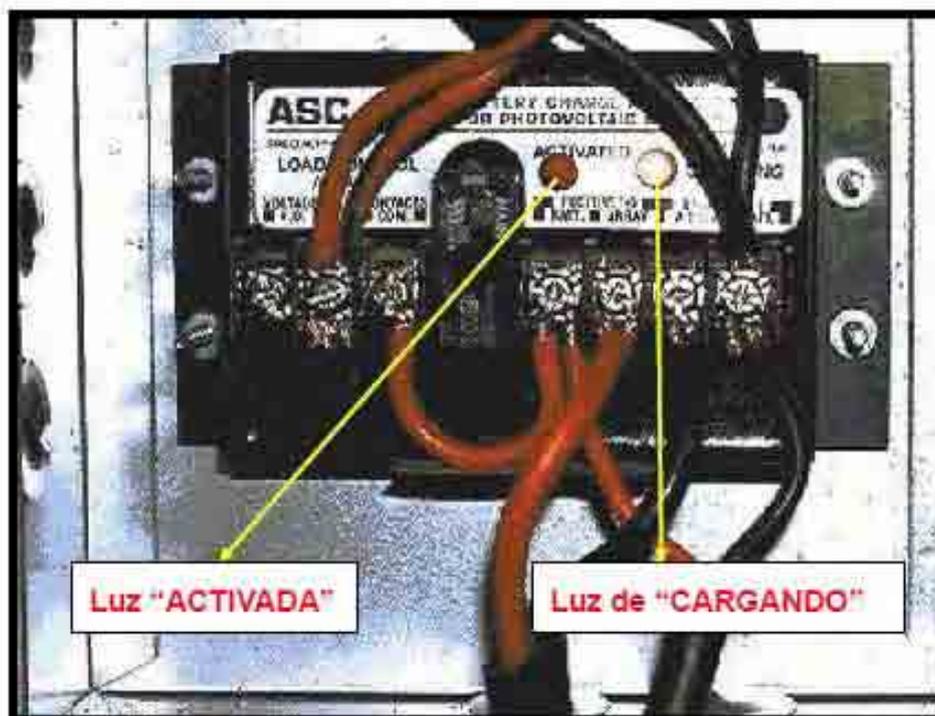
1. Coloque la batería sobre una base plana (madera o ladrillo)
2. La batería contiene ácido líquido nocivo
  - Abra la ventana sobre la batería
  - Nunca deje a los niños acercarse a la batería
  - Nunca tenga ganado en la habitación
3. No toque o mueva la batería
4. No coloque nada sobre la batería
5. No haga fuego cerca de la batería
6. No use la batería para otros propósitos

## Revisar la batería



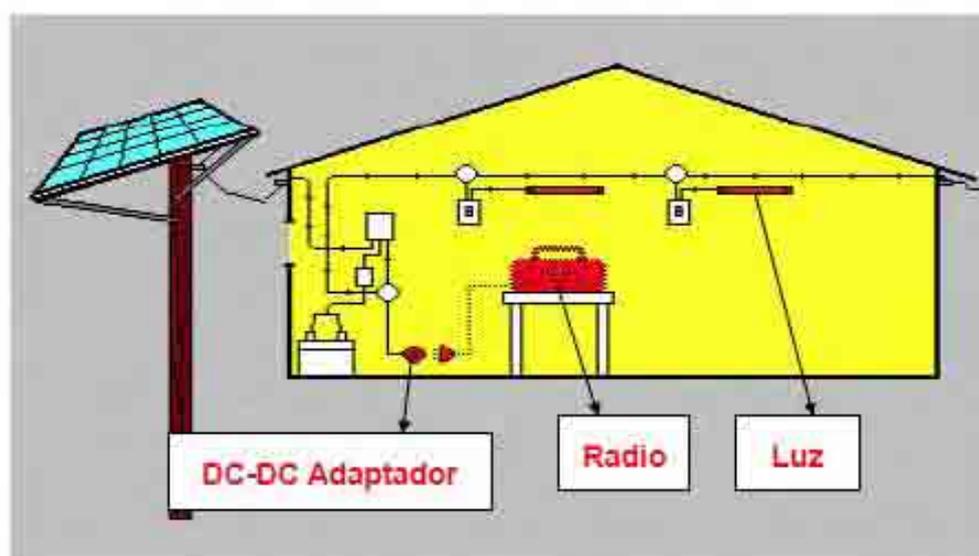
1. Revise el nivel de electrolito de la batería  
El nivel estará entre las dos líneas
2. Si el nivel está bajo la línea inferior, deje de usar energía y solicite a su Operador para que lo llene con agua destilada.

## Controlador



1. Luz de CARGANDO  
ON: La batería se esta cargando
2. Luz de ACTIVADO  
ON: La batería tiene bajo voltaje  
El Usuario no puede hacer uso de la energía

## Uso de la carga de batería



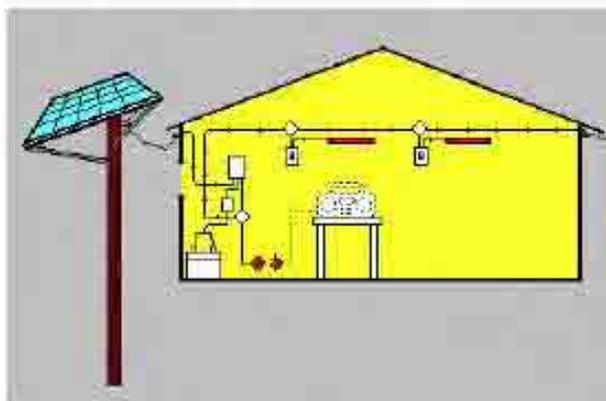
**La descarga será de 12V / DC. No 220V / AC**

Conecte el enchufe correctamente :

Use solo accesorios para enchufe y adaptador DC - DC

1. Los focos deben estar limpios
2. Reemplace los focos rotos
3. En caso de reemplazo de focos y compra de Radio y TV, solicite consejo al Operador para la especificación de las comparas

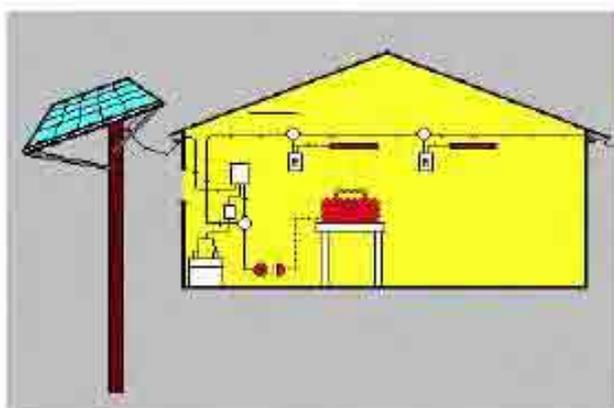
## Plan de uso de energía



### Luz

#### Uso diario

- Foco uno : 7 horas
- Foco dos : 4 + 3 horas
- Foco tres : 3+2+2 horas



### Luz + Radio

#### Uso diario

- Dos Focos : 3 + 2 horas
- Radio : 2 horas



### Luz + TV B/N

#### Uso Diario

- Dos Focos : 3 + 2 horas
- TV B/N : 1 hora

### Regla General del Usuario

- Una cuidadosa y apropiados manera de uso diario
- Se debe pagar:

Costo de tarifa por consumo de energía 18 soles / mes

### Debe Hacer

- Mantener el uso del Sistema Fotovoltaico todo el año en un mismo nivel (La batería debe ser cargado constantemente).
- Observar la indicación del nivel de liquido de la batería
- Mantener las horas de uso de acuerdo a la siguiente tabla

FOCO : 15 W

RADIO: 15 W / Max 2 hrs

TV B/N: 20 W / Max 1 hr

#### Patrón de Uso de Carga

USO \ CARGAS	FOCOS DE LUZ			FOCO + RADIO	FOCO + TV
	UNO	DOS	TRES		
POTENCIA (W)	15	15+15	15+15+15	15+15+15	15+15+20
USO (horas)	7	4+3	3+2+2	3+2+2	3+2+1
TOTAL (Wh)	105	105	105	105	95

- Usar demasiada carga podría causar inconvenientes, como la desconexión frecuente del controlador.
- Informar la molestia de problemas técnicos al jefe de la comunidad para que comunique al operador.

### **No debe Hacer**

- No tocar ni manipular nada excepto los focos y tomacorrientes.
- No permitir que los niños se acerquen a la batería
- No manipular nada especialmente en caso de problemas.
- No acercarse a ninguna de las partes del sistema fotovoltaico en caso de relámpagos o truenos.

#### **IV-1.2.2 Energía Hidroeléctrica Mini/micro**

Se requiere que la investigación y el estudio detallados para la energía hidroeléctrica los realice un ingeniero con experiencia, etc. Por tal motivo, el objetivo de este folleto ilustrativo es que los pobladores puedan brindar información sobre el potencial de la energía hidroeléctrica mini/micro y las condiciones del lugar a una organización adecuada como los gobiernos locales y el gobierno central, el cual cuenta con personal de experiencia sobre la energía hidroeléctrica. En este folleto se introducirá el método simplificado para identificar los potenciales hidroeléctricos mini/micro para los pobladores.



Ministerio de Energía y Minas



Un mundo mejor para todos.  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón.

## ÍNDICE

1. Introducción .....	4
2. Usos de la energía eléctrica .....	4
3. ¿Dónde podemos encontrar fuentes de agua para usarlas como generadoras de energía? .....	5
4. ¿Qué necesitamos saber? .....	6
5. ¿Cómo medimos la altura? .....	6
6. ¿Cómo medimos el caudal? .....	8
7. ¿Cuánta energía podemos generar? .....	14
8. ¿Esta energía será suficiente para cubrir nuestras necesidades? .....	16
9. Componentes de una microcentral hidroeléctrica .....	16



**JICA**  
**Agencia de cooperación internacional japonesa**

Fundada en 1974, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón es una agencia de implementación de asistencia técnica enfocada en sistemas de construcción, reforzamiento de organización y desarrollo de recursos humanos que harán posible el desarrollo de países hacia perseguir su propio desarrollo sustentable socio-económico.  
El trabajo de JICA es de amplio alcance y refleja intereses internacionales y necesidades cambiantes de los países en desarrollo.

A los sectores tradicionales como la agricultura y la infraestructura social, JICA ha agregado recientemente asistencia para combatir enfermedades infecciosas, ayuda para enfrentar la economía de libre mercado o establecimiento de sistemas legales y ayuda para la construcción pacífica y esfuerzos de reconstrucción en los países.

JICA usa un acercamiento basado en el tema para analizar comprensivamente temas a ser resueltos y despachar varios tipos de programas. "Estudios de Desarrollo" es uno de los programas y esta asistencia es para formular planes de desarrollo a nivel nacional o regional en varios campos económicos y sociales. Este incluye elaboración de Planes Maestros que sirvan como "esquema" para programas de desarrollo a mediano y largo plazo y también incluyen estudios técnicos de aspectos económicos y ambientales de implementación de proyectos propuestos como las bases para la factibilidad de los estudios.

En la República de Perú, JICA implementó "El Plan Maestro para la Electrificación Rural por energía renovable" desde Febrero del 2007 hasta Julio del 2008 como uno de los soportes al Perú basado en lo arriba mencionado.

**Ministerio de Energía y Minas – Dirección general de electrificación rural**  
**Electrificación rural en el Perú**

Los inicios de la electrificación rural en el Perú vienen desde mediados del último siglo, cuando en 1955 fue creada la nueva ley de Electricidad Industrial cuyo propósito fue el de impulsar a la inversión privada a promover la electrificación en zonas aisladas. Complementando esto en el año 1962 fue aprobado el Servicio Eléctrico Legal Nacional (SEN), el cual regula el suministro de electricidad en áreas sin inversión privada, de la misma manera promueve el desarrollo de Plantas Hidroeléctricas por el gobierno.

En 1992, una nueva ley No. 19521, Ley Normativa de Electricidad, inició el proceso de alumbrado público a cargo del gobierno. Fue declarada la necesidad, utilidad y seguridad de un suministro eléctrico y el Ministerio de Energía y Minas se convirtió en la entidad a cargo de la regulación y protección. Esta nueva responsabilidad fue titulada a ELECTROPERU SA que forma parte del Servicio Nacional Eléctrico (SEN), Corporación Mantaro (CORMAN), Corporación Santa (CORSAN) y otros. ELECTROPERU permanece a cargo de la electrificación urbana y rural en el Perú.

Diez años después en 1982 fue creada la Ley General de la Electricidad transfiriendo el derecho de distribución de energía, dado inicialmente a ELECTROPERU, hacia las compañías regionales, con el propósito de que ELECTROPERU permanezca como la compañía principal, teniendo todas las partes del gobierno y siendo responsable del planeamiento y del equipo Eléctrico haciendo que el Plan Maestro de Electricidad, Estudios y Ejecución de Generación y Transmisión trabaje. Esta Ley permitió el desarrollo del sector eléctrico en todo el Perú. En ese año, la extensión de la electricidad alcanzó un 40%. En ELECTROPERU fue creada una organización dedicada exclusivamente a la electrificación en provincias y distritos de todas las áreas rurales.

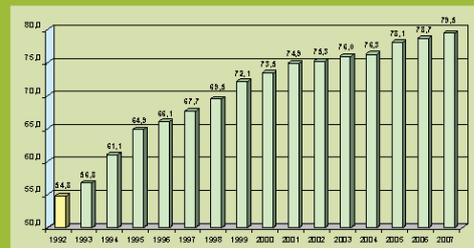
En 1992 apareció la Ley de Concesiones Eléctricas, Ley 25844 que dividió las actividades del sector eléctrico en tres partes: Generación, Transmisión y Distribución; dando concesiones y autorizaciones, todas ellas reguladas por el gobierno. Con este hecho el gobierno aseguró mayor eficiencia en materias de electricidad y también aseguró la participación del sector privado, pero la electrificación rural no fue tomada en cuenta. El porcentaje de electrificación nacional alcanzado en ese tiempo fue de 54.8%.

La Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP) fue creada bajo decreto supremo No. 0241-93-EM en 1993 como parte del Ministerio de Energía y Minas con derechos técnicos, administrativos y financieros propios a cargo de la ejecución de proyectos energéticos con fondos de diferentes fuentes.

Desde Agosto de 1993 hasta finales del 2006, más de 5.6 millones de personas han sido beneficiadas con electricidad, siendo el incremento de la electrificación nacional de 56.8% en 1993 a 78.7% en 2006. En este período de tiempo, 672 proyectos fueron ejecutados con una inversión total de 665 millones de dólares, esto significa: 57 proyectos de Sistemas de Transmisión (líneas de transmisión y subestaciones), 310 Proyectos de Distribución (Mini hidroeléctricas, redes primarias y secundarias), 63 Proyectos de Hidroeléctricas, 207 Proyectos de Generación Térmica, 2 proyectos de Energía Eólica y 4 Programas de Paneles Solares. Hemos comisionado 2,872 km de líneas de transmisión y 20,852 km de líneas de distribución, incrementándose la generación aislada en más de 150 MW de potencia térmica e hidráulica.

El decreto supremo No.026-2007-EM de fecha Mayo del 2007 propuso la creación de la Dirección General de Electrificación Rural (DGER) como entidad que pudiera ser parte de la oficina del Viceministerio de Energía y Minas (MEM), a través de la fusión del DEP y el FONER.

Igualmente el Decreto Supremo No. 031-2007-EM de fecha 26 de Junio de 2007 que aprobó las Regulaciones de los Alcances y Organización del MEM declaró que: DGER/MEM es responsable de la ejecución del Plan Nacional de Electrificación Rural, el cual es una tarea del sector de Energía y Minas. También agrega la ejecución y coordinación de proyectos electromecánicos teniendo la prioridad las áreas rurales y lugares en extrema pobreza. Este documento legal declara que DGER/MEM está conformado por las siguientes entidades: La Dirección General de Electrificación Rural (DGER) y la Dirección de Fondos Concursables (FONER).

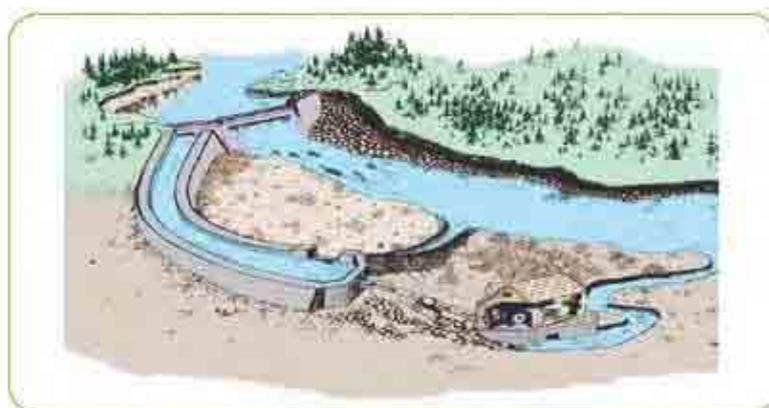


## 1. INTRODUCCIÓN

La mini y micro hidroelectricidad es un conjunto de pasos y equipamiento para ser puesto en práctica para aprovechar cascadas y generar la electricidad.

Más de un siglo ha pasado desde que el ser humano comenzó a generar electricidad con energía hidráulica, implementando desde entonces grandes instalaciones, conocidas como centrales hidroeléctricas.

Sin embargo, el llevar electricidad generada por estas centrales eléctricas a comunidades rurales es un proceso lento y un enorme desafío. Una solución es la construcción de instalaciones de pequeña escala en la comunidad usando los recursos de agua disponibles para satisfacer nuestras necesidades de electricidad. Y así mejoramos nuestra calidad de vida, transformando nuestros productos y facilitando nuestro trabajo.



## 2. USOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

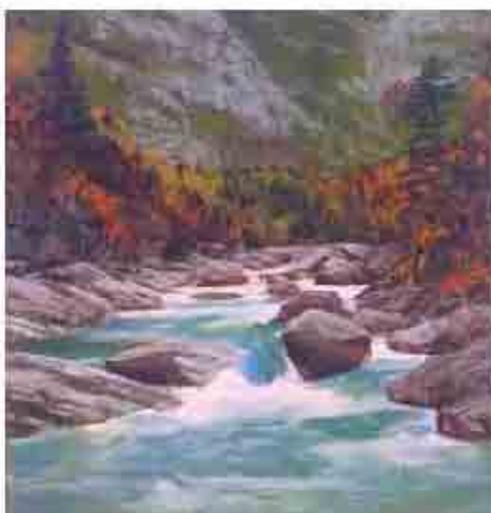
Uso doméstico	Usos productivos
Iluminación	Taller de carpintería
Refrigerador	Taller de metalmecánica
Televisión	Agronegocios
Radio transistor	Cargador de batería
	Molino de grano
	Trapiche
	Estación de radio

4

Cómo medir nuestras fuentes de agua



### 3. ¿DÓNDE PODEMOS ENCONTRAR FUENTES DE AGUA PARA USARLAS COMO GENERADORAS DE ENERGÍA?



Se debe aprovechar el agua de todas las fuentes existentes y disponibles en la comunidad o sus alrededores: ríos, riachuelos, manantiales, canales de riego u otras fuentes.

Por lo tanto, es importante conocer todas las caídas y alturas que se puedan aprovechar en cada fuente de agua. Además, la información siguiente se debe registrar en un cuaderno:

- El nombre de la fuente de agua que se empleará,
- El nombre del lugar donde se ubica la altura o caída, y
- La distancia aproximada entre la fuente de agua y la comunidad.

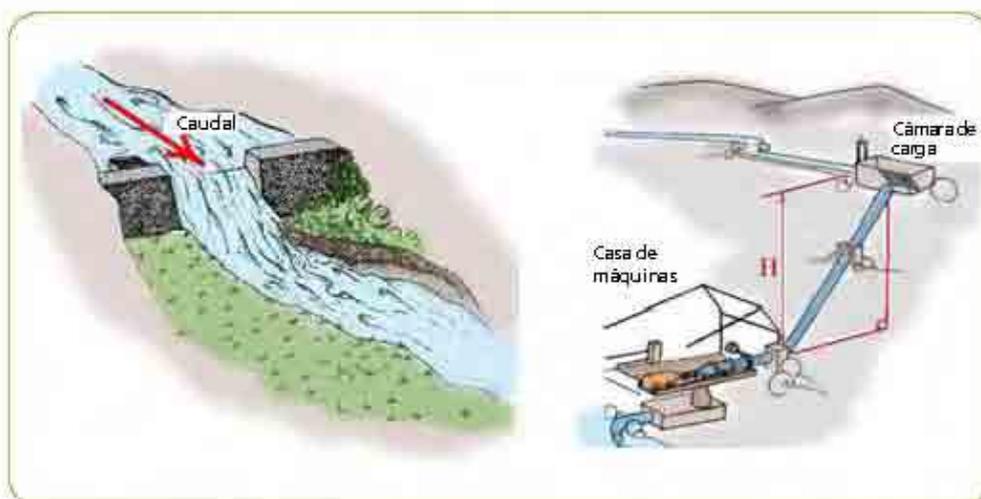
Cómo medir nuestras fuentes de agua

5

## 4. ¿QUÉ NECESITAMOS SABER?

Necesitamos conocer estas dos variables:

- Cuál es el caudal de la fuente o qué cantidad de agua contiene; y
- Cuál es la altura o caída de aguas que existe entre el canal y la posible casa de máquinas.



Es importante tener información sobre estas variables porque esto nos permitirá calcular la potencia eléctrica que puede ser generada. Además, es importante que el caudal del río o cualquier otra fuente tenga un volumen constante todo el año.

## 5. ¿CÓMO MEDIMOS LA ALTURA?

Hay métodos que fácilmente pueden ser aplicados por la comunidad que usa materiales locales e instrumentos.

### Medición de la altura con una manguera de nivelación

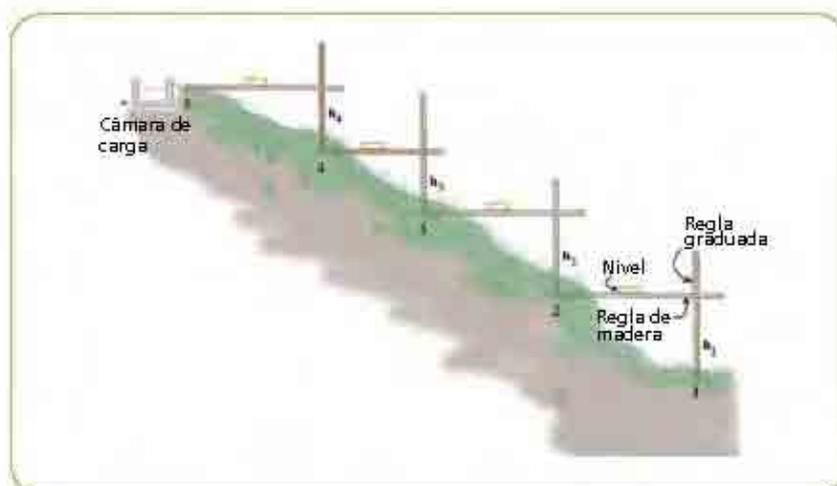
Este método es apropiado para lugares en los que la diferencia entre el punto más alto y el más bajo es pequeña. El único material que necesitamos es una manguera transparente con agua.

Para conseguir una medida confiable, tenemos que asegurarnos que ninguna burbuja de aire permanezca con el agua al interior de la manguera.

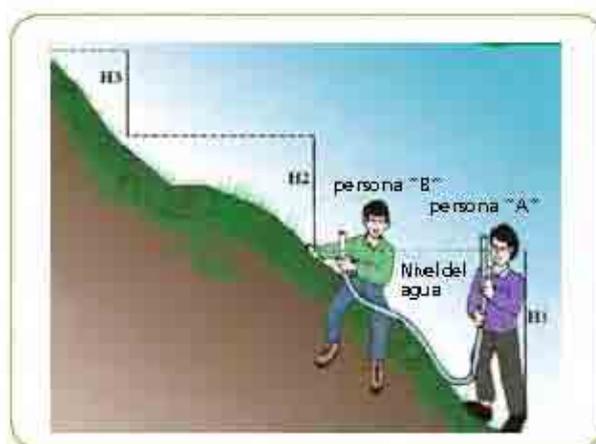
Se requieren dos personas para medir la altura total por secciones:

6

Cómo medir nuestras fuentes de agua



- Primero medimos la altura de la persona que servirá como la referencia, desde sus pies hasta sus ojos. Digamos, por ejemplo, 1.65 m, y la anotamos en el cuaderno.
- Luego, como se muestra en la figura, se coloca un extremo de la manguera a la altura de los ojos de la persona de referencia y el otro extremo debe sostenerlo la segunda persona hasta que el punto en que el agua se nivele.
- Debe anotarse el número de mediciones realizadas, por ejemplo, 13 mediciones.
- La altura total se obtiene multiplicando la altura de la persona de referencia por el número de mediciones realizadas. Por ejemplo,  $1.65 \times 13 = 21.45$  m.



¿Cómo medir nuestra fuente de agua

7

## 6. ¿CÓMO MEDIMOS EL CAUDAL?

Podemos usar dos métodos:

- El método del recipiente
- El método del flotador

La medición debe realizarse en época de sequía, cuando el caudal de la fuente sea el mínimo existente. A su vez, conviene haber obtenido información histórica del comportamiento del río: si alguna vez se ha secado o si en época de lluvias hay muchas avenidas o huaycos. Esta información la pueden proporcionar las personas que vivan muchos años en la comunidad.

Ahora veamos cómo funciona cada uno de estos métodos:

### 6.1. Medición del caudal por el método del recipiente

Este método es eficaz para medir el caudal de pequeños ríos o riachuelos. Consiste en medir el tiempo que demora en llenarse un cilindro o balde con el agua del río.

Necesitamos:

- 1 balde o cilindro cuya capacidad en litros conozcamos
- 1 cronómetro o reloj, y
- Calaminas o mantas plásticas

Para medir el caudal, haremos lo siguiente:

- Ubicar la sección del río donde se realizará la medición
- En ella, encauzar el río formando una catarata (ver figura)
- Colocar el balde o cilindro de modo que el agua caiga dentro, y tomar el tiempo que demore en llenarse
- Anotar el tiempo en el cuaderno y realizar por lo menos tres pruebas

Por ejemplo, si usamos un balde con capacidad para 60 litros y lo llenamos tres veces, la primera en 6 segundos, la segunda en 7 y la tercera en 8, entonces el caudal lo calcularemos así:



- Calculando el tiempo promedio

$$\begin{aligned} \text{Tiempo promedio} &= \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \text{ en segundos} \\ \text{Tiempo promedio} &= \frac{6 + 7 + 8}{3} = 7 \text{ segundos} \end{aligned}$$

- Calculando el caudal

$$\begin{aligned} \text{Caudal} &= \frac{\text{Capacidad (litros)}}{\text{Tiempo promedio (segundos)}} \\ \text{Caudal} &= \frac{50}{7} \frac{\ell}{s} = 8.6 \frac{\ell}{s} \end{aligned}$$

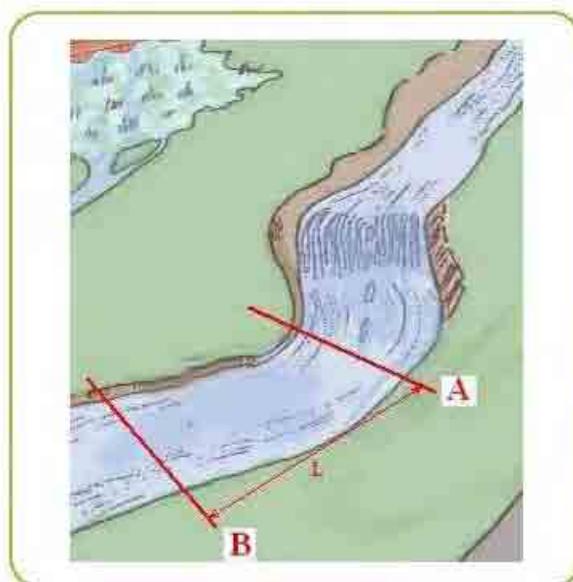
## 6.2. Medición de caudal por el método del flotador

Para utilizar este método, se necesitan conocimientos matemáticos básicos, por lo que es importante que, o la comunidad cuente con el apoyo de personas con esas habilidades o se pida apoyo del profesor de la comunidad.

Para aplicar este método necesitamos lo siguiente:

- Un objeto flotante, puede ser una botellita de plástico, un corcho, etc
- Un cronómetro o reloj
- Una gúincha o centímetro
- Una regla simple o graduada

Para calcular el caudal hay que seguir los siguientes pasos:



*Primer paso: Seleccionar el lugar adecuado*

Hay que ubicar un tramo uniforme de unos 10 o 20 m en el río, donde el agua fluya sin turbulencia. Para hacerlo, es necesario asegurarse de que no existan grandes piedras o troncos que impidan la libre circulación del agua.

*Segundo paso: Medición de la velocidad*

Entonces medimos la distancia entre estos puntos. Por ejemplo, la distancia entre el punto A y el punto B es 15 m.

En el tramo seleccionado debemos situar dos puntos: un punto A de inicio y un punto B de llegada.

Una persona debe ubicarse con el flotador en el punto A y otra, con el reloj, en el punto B. Cuando la primera persona suelte el flotador, la segunda persona medirá el tiempo que demora en recorrer desde el punto A hasta el punto B. Esto se anotará en el cuaderno y se realizarán por lo menos tres mediciones.

10

Cómo medir nuestras fuentes de agua

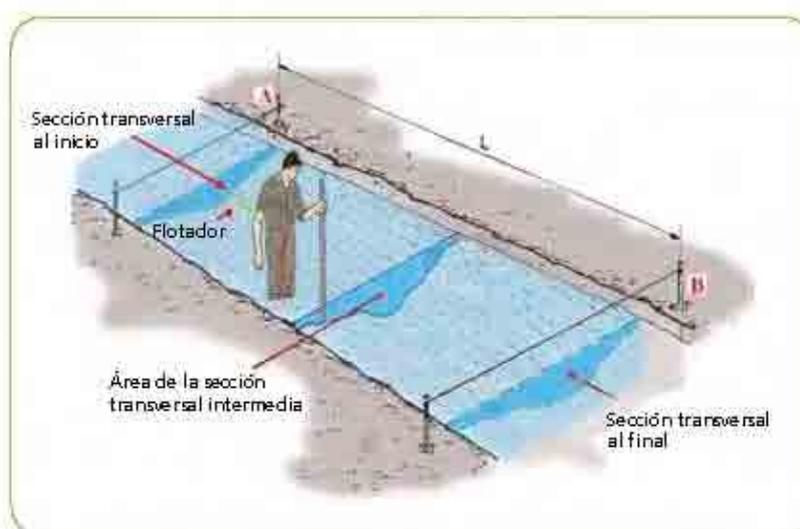
Por ejemplo, el tiempo promedio es 10 s

Usamos la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia A-B (metros)}}{\text{Tiempo promedio (segundos)}}$$

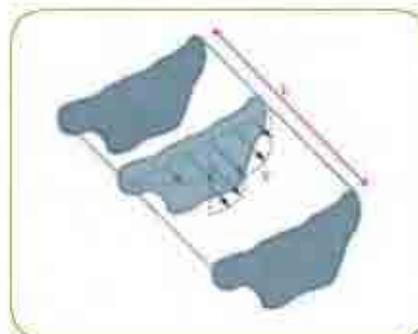
En nuestro ejemplo:

$$\text{Velocidad} = \frac{15 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



### Tercer paso: Medición del área de la sección transversal del río o canal

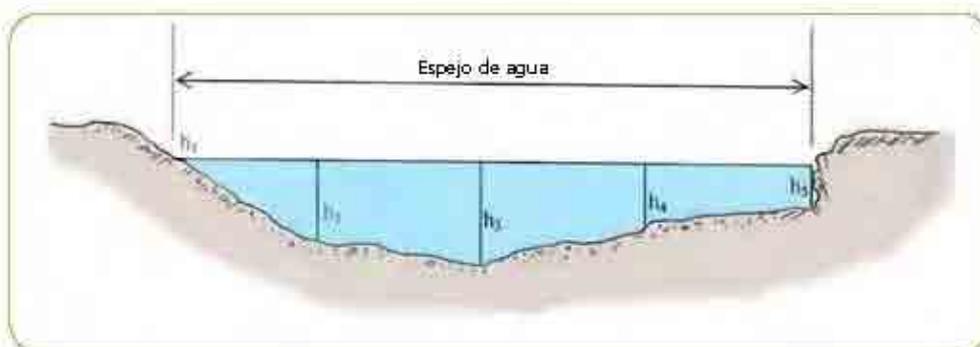
Hay que ubicar, dentro del tramo, el sitio donde calcularemos la sección transversal. Dicho sitio no debe presentar obstáculos, debe facilitarnos tomar las medidas para calcular el área.



Primero se debe medir el ancho del río en el lugar seleccionado (ver figura). Por ejemplo, el ancho es 2.5 m.

Entonces tenemos que estimar la profundidad promedio de modo que podamos calcular el área transversal. La profundidad promedio se obtiene dividiendo el ancho del río en al menos 4 partes y midiendo la profundidad en cada una de ellas.

Por ejemplo:



Profundidad	Metros
h1	0.00
h2	0.25
h3	0.38
h4	0.46
h5	0.30



Cómo medir nuestras fuentes de agua

Una vez medida, se calcula el promedio de la profundidad:

$$h_{Promedio} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_6}{5}$$

$$h_{Promedio} = \frac{0 + 0.25 + 0.38 + 0.46 + 0.20}{5} = 0.26 \text{ m}$$

Finalmente, el área de la sección transversal se calcula multiplicando el ancho del río por la profundidad promedio.

$$A_T = \text{Ancho (m)} \times \text{Profundidad promedio (m)}$$

En nuestro ejemplo:

$$A_T = 2.5 \times 0.26 = 0.65 \text{ m}^2$$

#### Cuarto paso: Cálculo del caudal

Conocida la velocidad y el área transversal podemos calcular el caudal del río a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal (m}^3\text{/s)} = K \times \text{Velocidad (m/s)} \times \text{Area (m}^2\text{)}$$

Donde K es un valor de corrección relacionado a la velocidad. Este valor se escoge de acuerdo a las características del río y su profundidad (ver tabla).

Tipo de canal o río	Factor K
Canal revestido en hormigón, profundidad del agua mayor a 15 cm	0.8
Canal de tierra, profundidad del agua mayor a 15 cm	0.7
Río o riachuelo, profundidad del agua mayor a 15 cm	0.5
Ríos o canales de tierra, profundidades menores a 15 cm	0.5 a 0.25

En nuestro ejemplo, tenemos que:

$$K = 0.5$$

$$\text{Velocidad} = 1.5 \text{ m/s}$$

$$\text{Área transversal} = 0.58 \text{ m}^2$$

$$\text{Caudal} = 0.5 \times 1.5 \times 0.58 = 0.435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Y si  $1 \text{ m}^3/\text{s} = 1000 \text{ l/s}$

entonces el caudal será :  $435 \text{ l/s}$

## 7. ¿CUÁNTA ENERGÍA PODEMOS GENERAR?

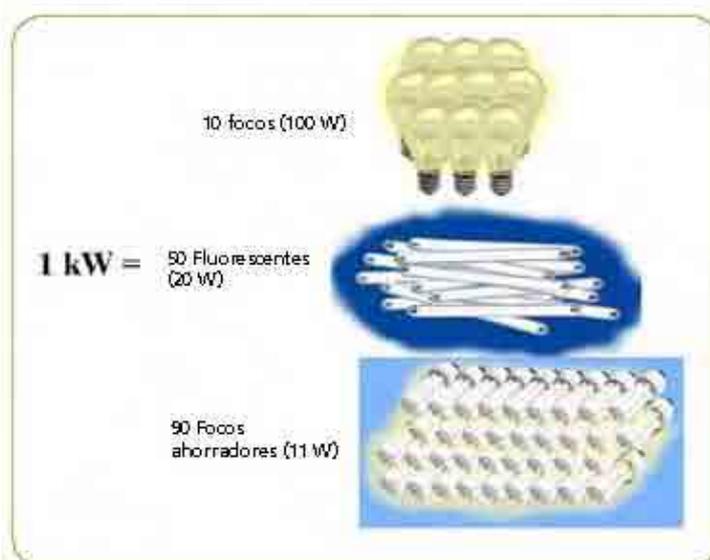
Para calcular la energía que podemos generar, es necesario conocer el valor del caudal y la altura. Teniendo esta información, estimaremos la potencia usando la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia (kW)} = C \times \text{Altura (m)} \times \text{Caudal (} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{)}$$

C: es igual a 6 para una minicentral hidroeléctrica

C: es igual a 5.5 para una microcentral hidroeléctrica

Para entender el valor de la potencia podemos hacer la siguiente comparación:



Ejemplo práctico

Se ha encontrado que el caudal del riachuelo es de 80 l/s y tiene una altura de 45 m.  
¿Qué potencia eléctrica podremos generar?

Respuesta:

Se tiene como datos hallados:

$$\text{Caudal} = 80 \text{ l/s} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Altura} = 46 \text{ m}$$

$$\text{Entonces el valor de } C = 5.5$$

Introduciendo los valores hallados en la fórmula:

$$\text{Potencia (kW)} = 5.5 \times 46\text{m} \times 0.08 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Potencia (kW)} = 20 \text{ kW}$$

## 8. ¿ESTA ENERGÍA SERÁ SUFICIENTE PARA CUBRIR NUESTRAS NECESIDADES?

Depende de la demanda de energía de nuestra comunidad; es decir, en qué se va a emplear la energía.

Para conocer dicha demanda se debe contar con el apoyo de un especialista, quien solicitará todas las informaciones necesarias, tales como:

- El total de la población de la comunidad
- Cuántas personas se conectarán al servicio eléctrico
- Qué otros servicios básicos tiene la comunidad: posta médica, colegio, municipio, etc
- Cuántos negocios o talleres existen en la comunidad



## 9. COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA

En general, una microcentral hidroeléctrica tiene los siguientes componentes:

- Obras civiles
- Equipo electromecánico

### Redes de transmisión y distribución



#### a) Obras civiles

Las principales componentes de las obras civiles son: bocatoma, canal de conducción, desarenador, cámara de carga, tubería de presión, casa de fuerza, etc

##### **Bocatoma**

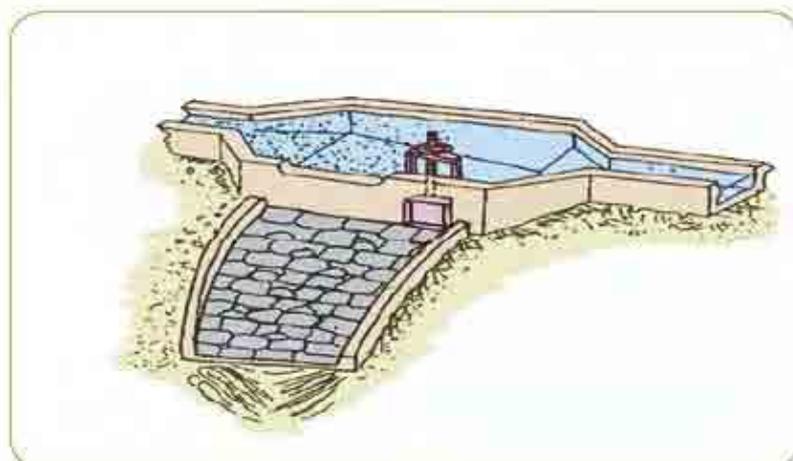
- Una instalación hidráulica cuya función es regular un flujo dado de agua para la producción de hidroelectricidad, mecánica o eléctrica
- La bocatoma puede ser construida de concreto u hormigón, piedra, hormigón y madera, etc

##### **Canal de conducción**

- El objetivo del canal de conducción es llevar el agua de la bocatoma a la cámara de carga
- Es similar a los canales de irrigación usados en nuestra comunidad

##### **Desarenador y cámara de carga**

El objetivo del desarenador es quitar las piedras y arena llevadas por el agua del río en su camino a la turbina.



La cámara de carga asegura que la tubería de presión esté siempre llena, impidiendo la entrada de aire.

#### **Tubería de presión**

- La tubería de presión lleva el agua bajo presión desde la cámara de carga hasta la turbina.
- Las mini y microcentrales hidroeléctricas usan tubos de PVC de alta presión porque son más ligeros, fáciles de instalar y cuestan menos que los tubos de acero.

#### **Casa de fuerza**

La casa de fuerza contiene todo el equipo de generación y control. Está localizada al principio del canal de descarga, que lleva el agua de la turbina al río.

### **b) Equipo electromecánico**

Está contenido en la casa de fuerza y consiste en todos los componentes que participan en la generación y el control de la electricidad: turbina, generador, regulador, panel de control, etc.

#### **¿Qué es una turbina?**

Es una máquina que transforma la energía hidráulica en energía mecánica, como puede verse al girar una turbina bajo la fuerza del agua.

### Tipos de turbina



Turbina Peltus



Turbina Michell-Banki



Turbina Francis



Turbina de flujo axial



Ministerio de Energía y Minas