

# **PICO HIDRO**

## **Potencia para Aldeas**

Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 kW  
en Terrenos de Pendientes Fuertes

**Phillip Maher y Nigel Smith**

Edición 2.0  
Mayo 2001

Este manual es producto de un proyecto financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional de Gran Bretaña (UK Department for International Development (DfID)) para el beneficio de países en desarrollo. Las opiniones expresadas en este documento no son necesariamente las propias del DfID

## **Renuncia y Aviso**

Los autores no aceptan responsabilidad por daños o muerte que puedan resultar de la incorrecta fabricación, instalación u operación de los equipos descritos en este manual. Tenganse en mente que toda labor de instalación y reparación de equipos eléctricos y mecánicos debería ser siempre supervisado y revisado por un técnico o ingeniero calificado y con experiencia.

# RECONOCIMIENTOS

Los autores quisieran por este medio agradecer al Profesor Alexandre Piantini de la Universidade de São Paulo, Brasil por sus valiosos aportes a la Sección 16 del manual, referente protección de sistemas aislados de distribución eléctrica contra relámpagos.

Además al Ing. Mauricio Gnecco de la Fundación para el Desarrollo de Tecnologías Apropriadas de Colombia quien aportó ideas acerca del contenido y presentación del manual, y al Dr. Arthur Williams de la Universidad de Nottingham Trent cuyas revisiones de los primeros borradores ayudaron a dar forma al manual.

De igual manera agradecemos las fotografías contribuidas por : Ghanashyam Ranjitkar de Energy Systems, Nepal, por Drona Raj Upadhyay de Intermediate Technology Development Group, Nepal y por Teo Sanchez de ITDG Peru.

Nuestro especial agradecimiento a Rebecca Leaf de ATDER-BL por su contribución con la traducción en Español.

# CONTENIDOS

1	Introducción .....	1-1
2	Principios básicos de Pico Hidro.....	2-1
3	Identificación del Primer Proyecto .....	3-1
4	Planificación de un Proyecto Pico Hidro .....	4-1
5	Propiedad y Viabilidad .....	5-1
6	Esquema de las Obras .....	6-1
7	Levantamiento del sitio .....	7-1
8	Esquemas para Pico Hydro .....	8-1
9	Generación de Electricidad .....	9-1
10	Manejo del Caudal de Agua .....	10-1
11	La Tubería Forzada.....	11-1
12	La Casa De Maquinas .....	12-1
13	Selección de las Cargas .....	13-1
14	El Sistema de Distribución Eléctrica .....	14-1
15	Alambrado Domiciliar .....	15-1
16	Protección de Sistemas Pico Hidro Contra Relámpagos.....	16-1
17	Pruebas, Puesta en Servicio y Operación.....	17-1
18	Identificación de Fallas .....	18-1
19	ANEXOS.....	19-1
20	Referencias y Direcciones .....	20-1
21	Glosario .....	21-1
22	Índice.....	22-1

---

# 1 INTRODUCCIÓN

## ¿Qué es la Pico Hidro?

Pico hidro refiere a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica menores de cinco kilovatios. Sistemas hidroeléctricos de este tamaño gozan de ventajas en términos de costos y simplicidad, comparados con sistemas hidroeléctricos de mayores capacidades, debido a distintos procedimientos que se aplican en los pasos de diseño, planificación e instalación de los pico-sistemas. Recientes innovaciones en la tecnología pico hidro han hecho que se convierta en una tecnología energética económicamente viable aún en partes del mundo muy pobres e inaccesibles. Además es una fuente de potencia versátil. Puede generar electricidad CA (corriente alterna) permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estandarizados, y la distribución de la electricidad a toda una aldea. Ejemplos comunes de los aparatos que funcionan en sistemas pico hidros son: bujías para iluminación, radios, televisores, refrigeradoras, y equipos de procesamiento de alimentos. Con algunos diseños pico hidro es posible también sacar fuerza mecánica directamente del eje de la turbina, permitiendo el funcionamiento de maquinarias tales como herramientas para talleres, molinos de granos, y otros equipos de procesamiento de los productos agrícolas locales. Este manual instructivo explica como escoger e instalar sistemas pico hidro apropiados para zonas montañosas o donde el terreno tiene fuertes pendientes.

## El Mercado

A nivel mundial, existe un mercado sustancial para sistemas pico hidro (hasta 5 kw) en países en vías de desarrollo. Este mercado existe debido a varios factores :

- A menudo, aún en países que tengan amplias redes de distribución eléctrica, hay muchas comunidades pequeñas sin electrificarse. A pesar de la fuerte demanda por la electrificación, la conexión de estas comunidades a las redes no es rentable para las empresas eléctricas, debido a los bajos niveles de consumo de una comunidad pequeña.

- Para pico hidro se requieren caudales pequeños, por lo cual existen numerosas fuentes aprovechables de agua. Muchas veces un manantial o un arroyo pequeño provee suficiente agua para la instalación pico hidro.
- La maquinaria pico hidro es pequeña y compacta. Los componentes pueden ser fácilmente transportados a sitios remotos y de difícil acceso.
- Es posible la fabricación local de los equipos. Los principios de diseño y procesos de fabricación son fáciles de aprender. Eso ayuda para que ciertos de los costos de los equipos estén acordes con los niveles salariales de la mano de obra local.
- La cantidad de casas que se conectan a cada sistema pico hidro es pequeña, típicamente menor de 100 casas. Por lo tanto es relativamente fácil recoger el capital inicial para la ejecución del proyecto, y eso también simplifica el manejo del mantenimiento del sistema y el cobro del servicio eléctrico.
- Instalaciones pico hidro cuidadosamente diseñadas tienen costos por kilowatio menores que instalaciones fotovoltaicos solares o de viento. Sistemas de generación diesel, aunque tengan un costo inicial menor, resultan más costosos sobre su vida útil debido al alto costo del combustible.

## Obstáculos al Desarrollo del Mercado

El motivo principal del desaprovechamiento del mercado de pico hidro es sencillamente que equipos turbo-generadores para pico hidro no están disponibles en muchos países. Donde están disponibles, hay pocas personas quienes saben como diseñar e instalar un sistema completo pico hidro.

## Objetivos

Este manual tiene como meta ayudar a superar estos problemas, mediante la presentación de instrucciones claras acerca del diseño y la instalación de proyectos pico hidro a nivel local. Los diseños recomendados enfatizan sencillez, bajo requerimiento de mantenimiento, y larga vida útil. El generador de inducción es un ejemplo de una tecnología que cada vez se utiliza

más en instalaciones de bajo costo y alta confiabilidad en el rango de potencias de las pico hidros. El generador de inducción es especialmente apropiado para acoplamiento directo con rodetes Pelton pequeños los cuales pueden girar a la velocidad requerida. La operación de motores de inducción como generadores es descrita en este manual y se dan instrucciones completas para las conexiones eléctricas.

La tubería forzada y el cable de distribución eléctrica a menudo son los componentes más costosos de un proyecto de electrificación pico hidro. Técnicas para reducir los costos de las obras civiles y redes de distribución eléctrica juegan un papel importante en la exitosa realización de proyectos pico hidro, y éstas también se describen en este manual.

### Alcance

El enfoque de este manual es la implementación de tecnología hidro para la electrificación de pequeñas aldeas en zonas donde los terrenos tienen fuertes pendientes. Este enfoque restringe la gama de diseños de turbinas y generadores a los apropiados para desniveles medianos o altos (desniveles mayores de 20 metros), y nos exige el uso de generación en Corriente Alterna, visto que sistemas de bajo voltaje en Corriente Directa no pueden fácilmente transmitir la electricidad a distancias mayores de unos pocos metros. Muchos aspectos de los métodos de implementación descritos, sin embargo, son apropiados también para otros tipos de diseños incluyendo los propios de sitios con desniveles menores y proyectos que benefician a un solo usuario en vez de una comunidad.

### Publicaciones Complementarias

Manuales sobre temas relacionados han sido escritos para promover la difusión de la tecnología pico hidro. Un manual para fabricantes de equipos titulado, "El Pico Power Pack - Instrucciones para Fabricación y Ensamblaje" tiene como meta estimular la fabricación local de los diseños recomendados, por este medio reduciendo los problemas de indisponibilidad de equipos que existe actualmente en muchos países.

La guía "Iniciando un Negocio Aprovechando Fuerza Hidráulica" promueve la implementación de proyectos para la generación de ingresos y beneficios comunitarios a través de estos proyectos. En particular, describe casos comprobados de exitosos usos comerciales de la tecnología pico hidro. Alentando a empresarios locales a implementar instalaciones pico hidro como fuente de potencia para sus negocios, las tecnologías pueden ser más fácilmente financiadas aún en áreas donde no hay disponibilidad de créditos ni subsidios para la gente de las zonas rurales.

### Lectores

Este manual se dirige a cualquier persona quien tenga interés en pico hidro para electrificación rural. En particular a personas quienes están comenzando a considerar esta tecnología por primera vez. Solicitamos que los lectores nos envíen sus críticas y sugerencias, para ir mejorando y actualizando los contenidos basados en las experiencias de nuestros lectores.



Figure 1-1 Los recursos para pico hidro son abundantes – el caudal de un manantial muchas veces es suficiente para generar electricidad. (Jarcot, Mustang, Nepal)

## 2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE PICO HIDRO

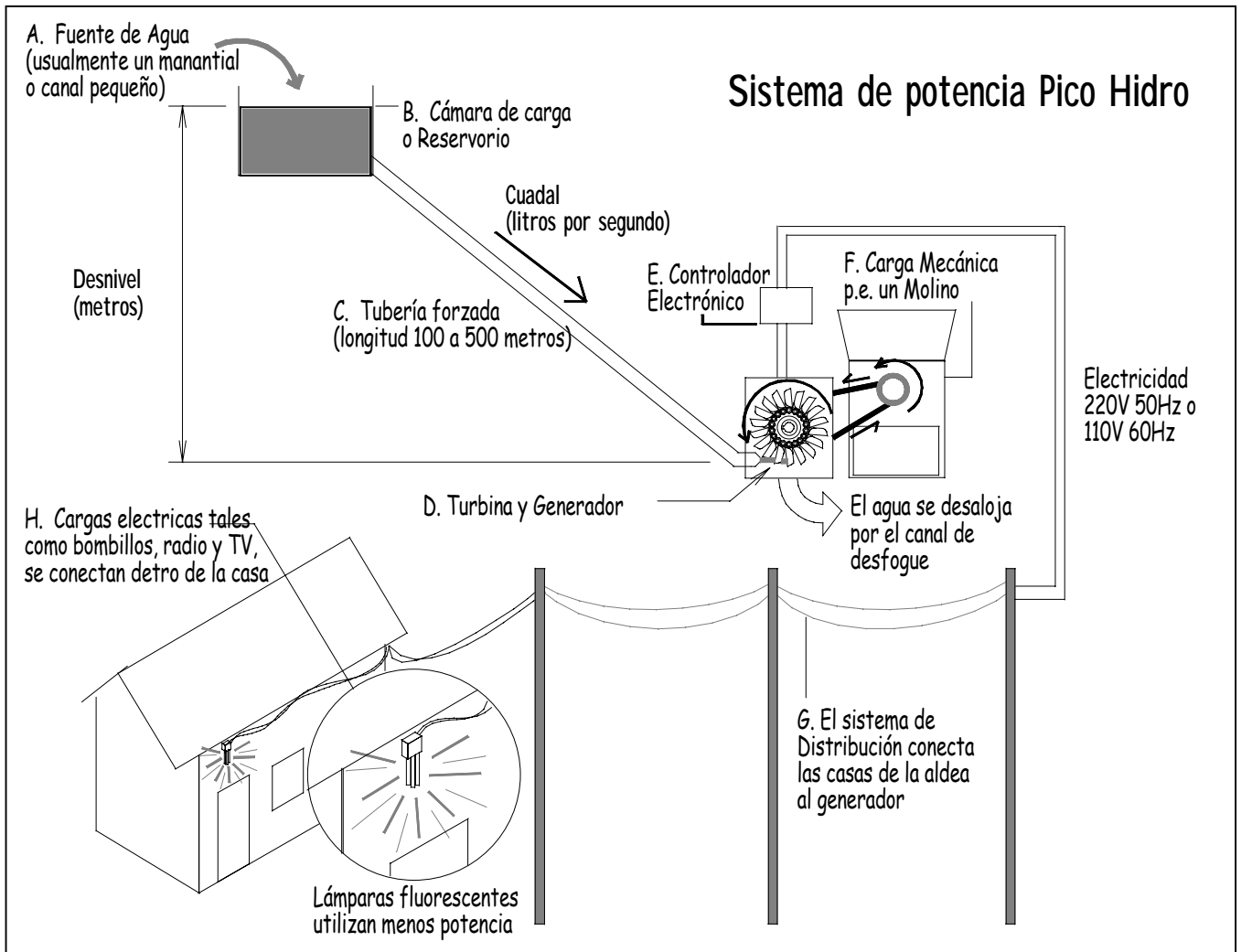


Figure 2-1 Componentes de un Sistema Pico Hidro

Un sistema pico hidroeléctrico aprovecha la potencia de una caída de agua. La Figure 2-1 demuestra el esquema de un sistema pico hidro. Cada uno de los componentes se describe en mayor detalle a continuación.

**A.** La Fuente de agua es un arroyo, o a veces un canal de irrigación. Pequeños caudales también pueden ser derivados de los caudales grandes de los ríos. Lo importante es que la fuente de agua sea confiable en cuanto al caudal, y que el agua no sea requerida por otras personas para otros propósitos. Los ojos de agua son excelentes fuentes, visto que se puede contar con ellos aún en la temporada de sequía, y usualmente su agua es limpia. Esto hace que la obra de toma sea menos propenso a atascarse con sedimentos y por ende no requiere frecuentes limpiezas. Para

mayor información referente las fuentes de agua y las obras de toma, ver Section 10.1.

**B.** El agua fluye desde la Fuente hacia la Cámara de Carga. Esta a veces se dimensiona para formar un pequeño reservorio. Un reservorio puede ser útil para almacenamiento de agua en caso que el caudal sea insuficiente en temporada seca. Para recomendaciones sobre el diseño y la construcción de Cámaras de Carga, léase la Sección 10.2.

**C.** El agua fluye desde la Cámara de Carga o reservorio, cuesta abajo por una tubería larga a la cual se le llama la Tubería Forzada. Al final de la Tubería forzada el agua sale de una tobera, en forma de un chorro a alta presión. Ver Sección 11 para recomendaciones referente la selección

de la Tubería Forzada. El sistema pico hidro descrito en este manual es apropiado para lugares donde hay terrenos con pendientes. Se recomienda una caída de agua (desnivel) de por lo menos 20 metros. Habiendo una caída de un mínimo de 20 metros hace que el caudal de agua requerido para generar suficiente potencia para cubrir las necesidades básicas de una aldea sea un caudal pequeño.

D. La potencia del chorro de agua, a la cual se le refiere como la "potencia hidráulica", es transmitida al rodete de la turbina y el rodete transforma la potencia hidráulica en potencia mecánica. El rodete de la turbina tiene "aspas" o "cucharas" que lo hacen rotar cuando reciba el impacto del chorro de agua. Por la palabra turbina generalmente se entiende el conjunto de equipos que incluye el rodete, la tobera, y la carcasa que los rodea y los proteja. El rodete típicamente gira a 1500 revoluciones por minuto. La turbina es acoplada al generador. El propósito del generador es él de convertir la potencia mecánica giratoria de la turbina en potencia eléctrica. Así es que el agua de un arroyo puede convertirse en electricidad.

E. Se conecta un controlador electrónico al generador. El controlador hace que la potencia eléctrica generada corresponda con las cargas eléctricas que se conectan al sistema. Eso es necesario para evitar que el voltaje suba y baje. Sin el controlador de carga, el voltaje variaría cada vez que se prendieran y apagarán las luces y otros dispositivos eléctricos.

#### POTENCIA

La potencia se mide en Vatios (W) o kilovatios (kW). 1000 W equivalen a 1 kW. Las instalaciones de potencia Pico Hidro producen potencias eléctricas máximas de 5 kW. Cuando se habla de un proyecto hidroeléctrico es importante distinguir entre los tres tipos de potencia, visto que cada tipo de potencia tendrá un valor distinto. La potencia del agua (potencia hidráulica) siempre será mayor que la potencia mecánica y que la potencia eléctrica. Eso se debe al hecho que, al convertirse la potencia de una forma en otra, una parte de la potencia se pierde en cada etapa de la transformación, a como se ilustra en la Figura 2.2.

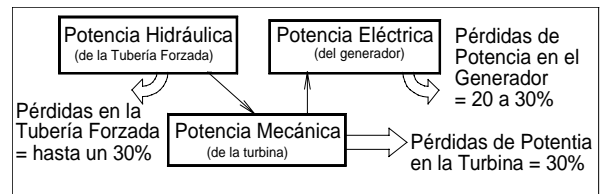


Figura 2-2 Una parte de la potencia se pierde en cada etapa de transformación desde el chorro de agua hasta la electricidad.

La mayor pérdida usualmente ocurre en la conversión de la potencia hidráulica en potencia mecánica, cuando el chorro de agua impacta en el rodete de la turbina. En una instalación bien diseñada y bien construida, aproximadamente un tercio (30%) de la potencia del chorro de agua se perderá en esta transformación. Las pérdidas pueden ser aún mucho mayores en instalaciones mal-hechas. 20% a 30% adicionales se perderán en el generador en la transformación de la potencia mecánica en electricidad. Algo de potencia también se pierde en la Tubería Forzada. El agua en contacto con las paredes internas de la tubería se lenea y pierde fuerza debido al roce de la fricción. Esta pérdida de potencia se expresa en metros de pérdida de desnivel. Su valor típicamente es de entre 20% a 30% del desnivel total. Antes de tomar en cuenta estas pérdidas en la tubería, a la caída o el desnivel se le refiere como el desnivel bruto, después de restar las pérdidas se le llama desnivel neto.

#### EFICIENCIA

Eficiencia es la palabra que se utiliza para expresar qué tan buena o mala es la conversión de la potencia de un tipo a otro. Una turbina que tiene una eficiencia del 70% convertirá 70% de la potencia hidráulica en potencia mecánica (los restantes 30% se pierden). La eficiencia del sistema resulta de la combinación de las eficiencias de todos los procesos en conjunto. La eficiencia del sistema para la generación de electricidad utilizando tecnología pico hidro típicamente es de entre 40% a 50%.

ej. como estimado preliminar, si hay en un arroyo pequeño, 2.8 kW de potencia hidráulica, la cantidad de electricidad que se podrá generar es aproximadamente :

$$2.8 \times 45\% = 2.8 \times 0.45 = 1.26 \text{ kW}$$



**Ejemplo 1** Calcular la potencia hidráulica de un arroyo pequeño

La Potencia Hidráulica de un arroyo puede calcularse una vez que se hay medidos el Desnivel y el Caudal. La fórmula para calcular la Potencia Hidráulica es la siguiente:

$$\text{Potencia} = \text{Desnivel (metros)} \times \text{Caudal (litros/seg)} \times 9.81$$

Si el desnivel que tiene un arroyo es de 60 metros, y el caudal es 10 l/s, ¿cuánta es la potencia ?

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= 60 \times 10 \times 9.81 \\ &= 5886 \text{ vatios (W)} \text{ o } 5.9 \text{ kilovatios (kW)} \end{aligned}$$

**F.** La Carga Mecánica refiere a una máquina la cual se conecta al eje de la turbina, a menudo por medio de un sistema de poleas, de manera que se extrae potencia directamente de la turbina. La fuerza giratoria del rodete de la turbina puede utilizarse directamente para hacer girar maquinarias tales como molinos de granos, equipos de carpintería, etc. Aunque se pierda aproximadamente 10% de la potencia mecánica en el sistema de poleas, aún así resulta una manera bastante eficiente de aprovechar la potencia disponible de la turbina. Con el uso de cargas mecánicas, se aprovecha más la potencia, visto que no se incurre en las pérdidas correspondientes a generadores ni a motores eléctricos. Para recomendaciones referente cargas mecánicas, ver la Sección 13.

**G.** El Sistema de Distribución transmite la electricidad desde el generador hacia las casas de los usuarios. Ésta es, en la mayoría de los casos, una de las partes más costosas del sistema pico hidro. En la Sección 14 se dan informaciones detalladas de como diseñar el sistema de distribución y escoger los calibres correctos de los cables eléctricos.

**H.** Las Cargas de los Usuarios usualmente están conectadas adentro de las casas. "Carga Eléctrica" es un término general que refiere a cualquier dispositivo que utiliza la electricidad generada. Los tipos de cargas eléctricas que se conectan a un sistema pico hidro dependen de la cantidad de potencia generada. Se prefieren las lámparas fluorescentes visto que consumen

mucho menos potencia que las luminarias incandescentes (de filamento). Eso permite que se conecten más lámparas al mismo generador. En la Sección 13.1. se presenta más información referente la selección de luminarias y otras cargas eléctricas.

**Ejemplo 2** Calcular (i) el desnivel neto, (ii) la potencia mecánica aprovechable, y (iii) la potencia eléctrica que podrá generarse, del mismo arroyo del Ejemplo 1

Para el propósito de estos cálculos, presumir que: 25% del desnivel bruto se perderá en fricción en la tubería forzada, la turbina tiene una eficiencia del 65%, y el generador tiene una eficiencia del 80% ?

**(i)** Calcular el desnivel neto

Si 25% del desnivel bruto se pierde en fricción en la tubería, entonces estas pérdidas por fricción equivalen a :  $0.25 \times 60\text{m} = 15\text{m}$ .  
Habiendo pérdidas de 15m, entonces el desnivel útil resultante ( o sea, el desnivel neto ) será :

$$= 60 - 15 = 45 \text{ m}$$

La potencia hidráulica neta disponible en el chorro de agua entrando a la turbina, entonces es menor que la que se calculó previamente en base al desnivel bruto. Ahora, basando el cálculo en el desnivel neto, tenemos :

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= \text{Desnivel Neto} \times \text{Caudal} \times 9.81 \\ &= 45 \times 10 \times 9.81 \\ &= 4414 \text{ W} \end{aligned}$$

**(ii)** Calcular la potencia mecánica

Si la turbina tiene una eficiencia del 65%, la potencia mecánica que produce será:

$$\begin{aligned} \text{Potencia (Mecánica)} &= \text{potencia hidráulica neta} \times \text{eficiencia de la turbina} \\ &= 4414 \times 0.65 \\ &= 2870 \text{ W} \end{aligned}$$

**(iii)** Calcular la potencia eléctrica generada

Si el generador tiene una eficiencia del 80%, entonces la potencia eléctrica que podrá generarse para iluminación y otros usos será :

$$\begin{aligned} \text{Potencia (Eléctrica)} &= \text{potencia mecánica} \times \text{eficiencia del generador} \\ &= 2870 \times 0.8 \\ &= 2295 \text{ W o sea, } 2.3 \text{ kW} \end{aligned}$$

## 3 IDENTIFICACIÓN DEL PRIMER PROYECTO

En caso que Ud. esté montando una empresa/negocio de pico hidro, o esté iniciando un programa de pico hidro comunitario, es importante escoger con cuidado el primer proyecto, visto que éste servirá de enfoque de interés para los clientes o comunidades. Al identificar el primer proyecto, es importante maximizar los beneficios, y *¡* minimizar los dolores de cabeza !

Tómense en cuenta las siguientes sugerencias :

### 3.1 Ubicación General

#### 1. Accesible para Ud. :

Búsqese un sitio en un distrito que sea para Ud. fácilmente accesible, para minimizar sus gastos de viajes, y para que Ud. pueda visitar el sitio sin dificultad en caso que ocurren problemas con las instalaciones..

#### 2. Accesible para clientes y financiadores:

Escoja distritos que estén cercanos y accesibles a los futuros clientes/usuarios de pico hidro y también accesible a los financiadores, para que todas estas personas claves puedan visitar y conocer el proyecto.

### 3.2 Ubicación Específica

#### 1. Sin "retos" técnicos:

Identifíquese un sitio que NO SEA de retos técnicos, es decir un sitio donde no se requieran obras civiles complicadas para transportar el agua, donde sí haya caudal suficiente, donde el desnivel sea apropiado para la instalación de una turbina y un generador de características ya conocidas y comprobadas.

#### 2. Cercano a los usuarios de la electricidad:

Búsqese un proyecto donde las líneas de distribución eléctrica serán cortas, de esta manera se minimizan los costos de construcción y mantenimiento de las líneas.

#### 3. Cantidad pequeña de usuarios:

Seleccione un sitio donde la cantidad de usuarios sean pocos, para que el requerimiento de potencia sea pequeño; eso disminuye el riesgo. Con pocos

usuarios, también se hace más fácil la organización y el manejo del proyecto.

#### 4. Una comunidad bien organizada y bien motivada:

Es muy importante que los beneficiarios del proyecto sean una comunidad harmoniosa, sin divisiones ni conflictos, y bien motivados a tener un proyecto pico hidro y dispuestos a contribuir con mano de obra y dinero para la realización del proyecto. Si hay personas con habilidades y capacidad para ayudar con las instalaciones, eso será un beneficio adicional.

#### 5. Cercano a un camino:

Al escoger un sitio cercano a un camino, eso facilitará la llegada de la gente, para que conozcan el proyecto y hagan propaganda favorable a su trabajo con pico hidro.

### 3.3 Para Lograr un Máximo de Buena Propaganda

- Invite a alguna persona importante del lugar para inaugurar el proyecto, y anime a la prensa local a asistir a la inauguración. Entregue con anticipación a los medios de prensa un anuncio para publicarse, cuidadosamente preparado. (Vale gastar unos dólares pagando a un experto en mercadeo para que prepare este anuncio).
- Prepare un folletito o afiche atractivo, que se entrega a la gente para animarlos a que le contraten a Ud. para realizar más proyectos pico hidros en la zona.
- Ponga unos rótulos atractivos para dirigir a los visitantes al sitio de la pico hidro.
- Anime a los dueños del proyecto a establecer pequeños negocios utilizando la potencia disponible de la pico hidro. Para ideas al respecto, puede obtenerse un folleto ilustrado, titulado 'Water Power for a Village Business' (Pico Hidro para Pequeños Negocios) de la misma fuente que distribuye este manual.

## 4 PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO PICO HIDRO

Este capítulo plasma los pasos requeridos para la realización de un proyecto pico hidro para la electrificación de una aldea. El orden de los pasos es importante para asegurar que la realización del proyecto proceda de manera bien organizada.

### PASO 1 VERIFICACIÓN DE COSTOS Y DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS

Verificar las fuentes de los componentes y equipos que se van a necesitar, especialmente las turbinas, los generadores y los controladores. Para los equipos disponibles, conocer los rangos de caudales, desniveles, y potencias apropiados. Obtener de los suplidores los costos aproximados todos los equipos y materiales requeridos, o se pueden obtener costos de otras instalaciones parecidas de la misma zona. En caso de no obtener costos de referencia, puede calcularse un costo total aproximado para el proyecto en base a un costo unitario de \$3,000/kW.

Visitar a otros proyectos pico hidro y a suplidores de turbinas, generadores, tuberías y cable eléctrico. Estos serán los componentes más costosos de cualquier instalación pico hidro.

### PASO 2 VALORIZACIÓN INICIAL

Determinar si hay:

- deseo local para la electricidad o potencia mecánica,
- disposición de pagar,
- capacidad local para manejar y administrar el proyecto construido,
- electricidad de las redes nacionales u otras, disponible actualmente o en planificación.

### PASO 3 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA REQUERIDA

Hacer estimados preliminares de los caudales y desniveles disponibles en la zona, para

determinar si es probable encontrar condiciones adecuadas para un proyecto pico hidro.

### PASO 4 LEVANTAMIENTO "A" DE LA DEMANDA

Estimar la cantidad de casas ubicadas dentro de un radio de 1km de la fuente de agua, y de estas familias, cuántas estarán dispuestas a pagar el servicio de electricidad.

1km es la distancia sobre la cual la electricidad puede ser transmitida fácilmente y económicamente. Suponer valores de los costos de capital (la inversión inicial), y los costos probables de mantenimiento y operación del sistema, para calcular la tarifa adecuada que se tendrá que cobrar por el servicio, y también el costo que se cobrará a cada usuario por el "derecho de conexión". (ver Sección 5.3)

### PASO 5 LEVANTAMIENTO "B" DE LA DEMANDA

Examinar qué actividades actuales en la comunidad requieren de mucha fuerza humana y/o mucho tiempo de los beneficiarios, y que podrían realizarse mejor aprovechando la potencia mecánica o eléctrica de la pico hidro.

### PASO 6 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO Y COSTO DEL GENERADOR

Estimar el tamaño (potencia) del generador que se requerirá para cubrir la demanda eléctrica. Estimar el costo de este generador en base a la información recogida en el PASO 1 arriba.

### PASO 7 VERIFICACIÓN PRELIMINAR DE VIABILIDAD

Escoger el tamaño (potencia) más favorable, en base a los levantamientos de la demanda y el estimado de la potencia requerida. Después comparar los probables ingresos anuales con el costo del capital (inversión inicial). Ver los siguientes indicadores de viabilidad :

- si el probable ingreso anual es <10% del costo de la inversión inicial, entonces el proyecto no es viable.
- Si el ingreso anual está en el rango del 10-25% de la inversión inicial, entonces el proyecto pueda que sea viable.

- si el ingreso anual es mayor del 25% de la inversión inicial, entonces el proyecto sí es viable.

#### PASO 8 CAUDAL & DESNIVEL

Definir una combinación de caudal y desnivel apropiada para generar la cantidad de potencia requerida, partiendo del equipo turbo-generador disponible. Habrá que presumir un valor de eficiencia del sistema. En caso de duda, suponer una eficiencia global del sistema (para la transformación de potencia hidráulica en potencia eléctrica) del 45%.

#### PASO 9 ASAMBLEA DE LA COMUNIDAD

Presentar los resultados del análisis preliminar a los pobladores de la comunidad, en una reunión o asamblea pública y abierta, a la cual se deberá de invitar también funcionarios de las instancias de gobierno y organizaciones de desarrollo locales.

Presentar toda la información en carácter de "estimados". Sobre-estimar los costos, y sub-estimar la potencia disponible. Plantear las opciones de propiedad del proyecto (individual, grupo, comunidad). Explicar las responsabilidades y también las posibilidades para el financiamiento del proyecto. No se proceda al levantamiento y diseño detallado del proyecto mientras no haya acuerdo local en cuanto a la forma de propiedad y de financiamiento del proyecto. Considerar si se cobrará a los beneficiarios todo o una parte del costo del levantamiento detallado.

#### PASO 10 LEVANTAMIENTO DETALLADO

Llevar a cabo un levantamiento detallado del sitio.

¿Hay suficiente desnivel para garantizar la potencia requerida? ¿Será excesivamente larga la tubería? ¿Podrá reducirse el largo de la tubería incorporándose un canal? ¿Se podrá contar con un caudal adecuado todo el año, o se requerirá de obras para almacenamiento de agua? Aprovechar los conocimientos de la gente del lugar; si quedan dudas, esperar hasta el final de la temporada seca para medir y confirmar el caudal mínimo.

#### PASO 11 CALCULO FINAL DE LA POTENCIA

Ajustar el estimado preliminar del tamaño del generador (del PASO 6 arriba), en base a la

nueva evaluación de la potencial hidráulica del sitio (potencia disponible en el arroyo).

En caso que las características de desnivel y caudal del sitio permitan una potencia mayor que la prevista, puede aparecer atractivo instalar toda la capacidad que ofrece el sitio. Sin embargo, hay varias razones por las cuales es preferible mantener el proyecto pequeño:

- Proyectos pequeños cuestan menos, y son más fáciles de llevar a cabo
- Si se hacen errores en la realización del proyecto, será más barata la corrección de los errores
- Los costos de mantenimiento y reparaciones serán menores.

#### PASO 12 MAPA A ESCALA

Dibujar un mapa (plano) del sitio a escala.

#### PASO 13 ESQUEMA DE LAS OBRAS

Trazar las obras del proyecto sobre el mapa del sitio. Anotar las longitudes de las tuberías, los canales si hay, y de cada tramo del sistema de distribución eléctrica en caso que el proyecto tenga líneas eléctricas. Dibujar todo a escala sobre el mapa.

#### PASO 14 REVISION DEL ESQUEMA

Buscar diseños alternativos que podrían resultar en tuberías o líneas eléctricas más cortas, para reducir los costos. Considerar la posibilidad de reubicar la Casa de Máquinas, o incorporar canales en el diseño.

#### PASO 15 PRESUPUESTO

Elaborar una lista de los costos reales de los componentes principales del proyecto, y obtener cotizaciones de los suplidores por escrito.

Componentes del proyecto : tuberías, turbina y generador, líneas de distribución eléctrica, obras civiles, y otros. Añadir por lo menos un 5% adicional para cubrir posibles imprevistos. Buscar siempre los suplidores quienes ofrecen los precios más favorables, pero cuidar de no comprar materiales de mala calidad que puedan comprometer la calidad del proyecto. Negociar descuentos con los suplidores, basados en las cantidades de materiales que se van a comprar.

**PASO 16 VIABILIDAD FINANCIERA**

En base al presupuesto detallado, verificar que el proyecto siempre parezca financieramente viable. Comparar los ingresos proyectados en base al cobro de la electricidad a la tarifa escogida, con los costos de repagar el financiamiento al crédito.

Si el proyecto no parece financieramente viable, ver cuales son los costos mayores del proyecto y ver si no se pueden reducir estos costos. Rebuscar ofertas más baratas para el cable, las tuberías, etc. Considerar otros niveles de potencia, y también la posibilidad de utilizar lámparas eficientes y conectar a más usuarios, para aumentar los ingresos del proyecto.

**PASO 17 CONTRATOS CON LOS CLIENTES.**

Acordar contratos con los clientes por el servicio de electricidad. El contrato deberá reflejar el monto de la tarifa mensual que el usuario pagará por el servicio eléctrico y también reflejar la cantidad de artefactos eléctricos (dispositivos de iluminación) que el cliente va a comprar.

**PASO 18 ARREGLO DE FINANCIAMIENTO**

Arreglar el financiamiento requerido en base a los contratos de suministro.

**PASO 19 PEDIDOS DE LOS MATERIALES**

Colocar los pedidos de materiales y equipos, y transportarlos al sitio.

**PASO 20 CONSTRUCCION**

Construir las obras civiles e instalar los equipos electromecánicos.

**PASO 21 CAPACITACIÓN DE OPERADORES**

Capacitar a un operador local en todos los aspectos de operación, mantenimiento y seguridad del sistema. Capacitar a los dueños del proyecto en el manejo y administración del sistema.

La capacitación en administración deberá de incluir capacitación en el cobro de la tarifa y el

repago del crédito. También el manejo de un fondo de reserva que cubra los costos de mantenimiento del sistema, para asegurar que el sistema eléctrico siga en servicio a largo plazo y de manera sostenible.

**PASO 22 CAPACITACION DE LOS CLIENTES**

Suministrar información y capacitación a los usuarios, referente aspectos de seguridad en la utilización de la electricidad en sus casas, referente el ahorro de energía, etc.

**PASO 23 PUESTA EN SERVICIO DEL PROYECTO**

## 5 PROPIEDAD Y VIABILIDAD

- 5.1 Opciones de Propiedad
- 5.2 Desglose de Costos
- 5.3 Cálculo de la Tarifa
- 5.4 Convenio con los Clientes
- 5.5 Encuesta para Conocer la Demanda

### 5.1 Opciones de Propiedad

Hay dos principales opciones en cuanto al acuerdo de propiedad de los proyectos pico hidro:

**Propiedad Comunitaria**- los usuarios de la pico hidro pagan el costo del proyecto, y cualquier ganancia excedente revierte a la comunidad.

**Propiedad Empresarial**- uno o más empresarios pagan el costo del proyecto, y reciben las ganancias que pueden derivarse de la venta de la electricidad.

Otros modelos tales como Propiedad Gubernamental, son menos comunes en los proyectos pico hidro. Los requisitos para la viabilidad del proyecto dependen del modelo de propiedad que se establezca. En el caso de la Propiedad Comunitaria, la viabilidad se califica de positiva cuando las mejoras en la calidad de vida y los ahorros de dinero por sustituir a otras fuentes de energía como kerosén o baterías, sean mayores que el costo del proyecto. En el caso de la Propiedad Empresarial, la viabilidad se mide principalmente por la tasa de retorno percibido por el (los) empresario(s) sobre su inversión de capital. Cada modelo de propiedad tiene sus ventajas y desventajas..

	Ventajas y Desventajas
P.C.	Usualmente la distribución de los beneficios del proyecto es más pareja, y un porcentaje mayor de las familias de la comunidad obtienen su conexión al sistema.
P.E.	Con motivo de sus ganancias, el empresario se preocupa por las reparaciones y el mantenimiento del sistema, y promueve la utilización productiva de la potencia disponible. El manejo por una persona es más sencillo que la administración por comité. Sin embargo, las familias más pobres de la comunidad tienden en ser excluidos del servicio debido a las tarifas más altas impuestas por el empresario.

Table 5-1 Comparación entre las opciones de Propiedad Comunitaria (P.C.) y Propiedad Empresarial (P.E.) en los proyectos pico hidro

La realización de una encuesta para conocer la demanda real que existe en la comunidad, y los cálculos de viabilidad financiera, son muy importantes para decidir si un proyecto pico hidro es viable, y para determinar el tamaño óptimo (nivel de potencia) del proyecto.

### 5.2 Desglose de Costos

Los costos del proyecto pico hidro pueden dividirse en costos de capital y costos de operación:

**Costos de Capital** - El costo de capital es el costo total de la compra e instalación de todos los materiales y componentes del proyecto. El costo de capital se cubre a través de una combinación de: fondos privados, préstamos bancarios, subsidios del gobierno, y donaciones caritativas. Si no se dispone de otros datos más exactos, se puede estimar los costos de capital en base a un costo unitario de \$3000/kW lo cual dará una cifra conservador para los costos totales de un proyecto pico hidro, excluyendo los costos del alambrado y artefactos internos de las casas, la mano de obra, y los postes de la red de distribución eléctrica.

**Costos de Operación** - Para poder cobrar la tarifa y repagar los créditos, es esencial que el sistema se mantenga en estado operacional una vez que entre en servicio. Los costos de operación son aquellos costos asociados con la operación y el mantenimiento del sistema. El pago del operador varía de un país a otro, siendo típico un pago de US\$ 30 a US\$ 50 mensual, visto que este trabajo normalmente se considera un trabajo de tiempo parcial, y ese sueldo básico puede suplementarse con otros ingresos. El sueldo del operador también dependerá de la cantidad de clientes que tenga el sistema; lógicamente una red de distribución eléctrica con muchas casas conectadas requerirá de más labor de mantenimiento que un sistema con pocas casas.

En sistemas muy pequeños, puede darse el caso que al operador se le autorice tener gratis una lámpara, y que no reciba pago alguno en efectivo. Los costos de mantenimiento surgen a raíz de la necesidad de reparar o reemplazar componentes dañados o gastados de los equipos, para mantener el sistema en operación normal y confiable. Estos costos pueden estimarse en base a un porcentaje

fijo del costo total del capital (p.e. 4-6% al año). La cifra exacta depende del tipo y calidad de los equipos, el cuidado con lo cual fueron instalados, y la atención que se presta a su mantenimiento. Faltando datos más precisos, puede estimarse un valor de 6% anualmente.

### 5.3 Cálculo de la Tarifa

La tarifa es el pago que se les cobra a los usuarios por el servicio eléctrico. En los sistemas pico hidro, usualmente la tarifa es un monto fijo que se cobra cada mes. Eso es posible gracias al uso de limitadores de carga en vez de medidores de consumo. Los limitadores de carga limitan el consumo de cada casa a la cantidad contratada (ver la explicación en la Sección 15.3) El procedimiento para la fijación de la tarifa depende del arreglo de propiedad que tiene del proyecto, y del tipo de financiamiento con lo cual cuenta. Tienen que preverse aumentos en la tarifa para compensar los aumentos en costos de repuestos, etc. que resultan de la inflación. Puede facilitar el entendimiento de estos aumentos que se les relacione con otros precios escalonados por la inflación, por ejemplo las tarifas del servicio eléctrico nacional. Para que los clientes aprecien una relación directa entre la cantidad de electricidad que consuman y la tarifa que pagan, es útil aprovechar el concepto de los "paquetes de iluminación".

#### Paquetes de Iluminación

Un "paquete de iluminación" es el suministro de electricidad suficiente para operar una lámpara y posiblemente un radio. La ventaja de este concepto es que permite a los usuarios fácilmente comparar el costo del servicio eléctrico pagado con el beneficio obtenido. En caso de utilizar lámparas fluorescentes, el paquete de iluminación típicamente provee de 15 vatios. Se instalan limitadores de carga los cuales limitan el suministro de potencia a la que se requiere para alumbrar la cantidad de paquetes de iluminación escogidos y contratados por el usuario. El usuario paga una tarifa mensual fija por cada paquete de iluminación

#### Proyectos Propiedad Comunitaria, sin préstamo bancario

En este caso los usuarios pagan un monto inicial lo cual cubre los costos de capital del sistema, y una pequeña tarifa mensual que cubre los costos de operación y mantenimiento

Los costos al usuario pueden estimarse a como sigue:

1. El costo de conexión, por cada paquete de iluminación, se calcula utilizando datos de referencia obtenidos de otros proyectos pico hidro, o presumiendo un costo de \$3000/kW (cifra que no incluye el costo del alambrado interno de las casas). Por ejemplo, si el costo del sistema pico hidro es de \$3000/kW y cada paquete de iluminación es de 15W entonces el costo del capital será de \$45. Esto deberá de pagarse de antemano para permitir la compra de los componentes del proyecto. Los costos del alambrado interno de la casa también tendrán que ser pagado por cada usuario.
2. Estimar los costos de mantenimiento del sistema. Si el monto para mantenimiento es el 6% anualmente del costo del capital (\$3000/kW), entonces el costo por cada paquete de iluminación de 15W será de \$0.23 mensualmente.
3. Estimar el costo mensual del pago del operador, y dividir entre la cantidad total de paquetes de iluminación para conocer el costo mensual por paquete de iluminación. Por ejemplo, si se espera que van a contratarse 100 paquetes de iluminación, y el pago del operador será de \$30 mensual, entonces el costo del operador por paquete de iluminación será de  $\$30/100 = \$0.30$  mensual.
4. Sumar el costo del operador más el costo de mantenimiento para obtener el costo de operación por paquete de iluminación que tendrán que pagar los usuarios cada mes..

#### Proyectos Propiedad Comunitaria, con préstamo bancario

En muchos casos, las familias rurales no disponen de suficientes fondos líquidos para pagar el capital del proyecto. Bajo esas circunstancias deberá de considerarse la obtención de un préstamo, usualmente de algún banco. Un plazo realista para el repago del préstamo deberá de calcularse. Usualmente el plazo será de entre 3 a 15 años. Abordarse con los bancos y otras fuentes de créditos para conocer los abonos mensuales requeridos por cada \$1000 prestados, y también las condiciones del crédito en cuanto a garantías requeridas, hipotecas, etc.

Habiendo identificado el mejor arreglo crediticio disponible, los pasos para calcular la tarifa en este caso son:

1. Calcular el costo del capital por cada paquete de iluminación, igual que en el caso anterior. (por ejemplo \$45)
2. Calcular los abonos mensuales al préstamo por cada \$1000 prestados, y dividir entre 1000 para conocer el abono por cada \$1. (p.e. si los abonos son de \$30 mensuales por \$1000 prestados, entonces  $\$30/1000 = \$0.03$  por cada \$1 prestado.)
3. Calcular el abono mensual por paquete de iluminación. Multiplicar el costo del capital que corresponde a un paquete de iluminación por el abono mensual por \$1. (p.e.  $0.03 \times 45 = \$1.35$  por paquete de iluminación por mes).
4. Sumar los costos mensuales de mantenimiento y del pago del operador conforme el ejemplo anterior, para obtener la tarifa mensual total, por cada paquete de iluminación.

#### Proyecto Propiedad Empresarial

El empresario decide cual es la tasa de retorno que requiere para que el proyecto pico hidro sea lo suficientemente rentable para que le convenga realizar la inversión. Por ejemplo, la tasa de retorno puede ser 10% por encima de los costos del préstamo bancario. Entonces este dato se utiliza para calcular la tarifa mensual por paquete de iluminación, conforme los pasos del ejemplo anterior. La encuesta de la demanda entonces revelará si hay suficientes familias dispuestas a comprar los paquetes de iluminación a esta tarifa.

#### 5.4 Convenio con los Clientes

Antes de llevar a cabo la encuesta para determinar la demanda, los términos del convenio o contrato con los clientes deberán estar claramente establecidos. Eso ayudará a aclarar exactamente cuales son los beneficios que recibirán los clientes y a qué costo, y cuanto se les requerirá en aporte de mano de obra. Los puntos claves a explicar son los siguientes:

- En qué consiste un paquete de iluminación y cuales son los limitantes del uso debido al limitante de potencia eléctrica (p.e. cuáles artefactos electrodomésticos podrán y no podrán utilizarse en caso que el paquete de iluminación incluya un tomacorriente).

- Los costos por paquete de iluminación (Cobro por conexión, costos del alambrado interno de la casa, tarifa mensual) y explicación de como la tarifa mensual puede ser reajustado con el tiempo.
- Si el servicio eléctrico va a tener un horario (p.e. de 4pm a 11pm), entonces eso se les explica a los usuarios.
- Si durante la temporada seca el horario puede variarse por limitante de agua, se explica.
- Presentar un estimado del aporte de mano de obra que se va a requerir para construir la casa de máquinas, la tubería forzada, la captación de agua, y la red de distribución eléctrica.

#### EXPLICAR LAS VENTAJAS Y LAS DESVENTAJAS

Al sondear para conocer quién tiene interés en tener una conexión eléctrica, es importante explicar las ventajas. Las ventajas principales de la electricidad para la mayoría de familias rurales son :

- mejor iluminación en la cocina y para estudiar
- mejor calidad de aire debido a la eliminación de las lámparas de kerosín
- menores gastos en baterías o kerosín
- menos riesgo de fuego

Es muy ventajoso poder demostrar una luminaria fluorescente en alguna casa local. Para eso se puede utilizar una "luminaria de emergencia" con las baterías pre-cargadas. (ver Section 13.1)

Una desventaja del sistema pico hidro para iluminación y otras cargas pequeñas es que los usuarios tienen que comprometerse a pagar la tarifa cada mes. Eso contrasta con otros tipos de energía como el kerosín y las baterías pequeñas, que se compran cada vez que la familia dispone de fondos para estas compras

#### 5.5 Encuesta para Conocer la Demanda

La encuesta de la demanda es un paso muy importante en la mayoría de los proyectos. Permite al desarrollador del proyecto saber cuántos paquetes de iluminación se contratarán a la tarifa y costo de conexión calculados, y por ende la capacidad de potencia correcta para el proyecto. Se deberán de obtener respuestas a

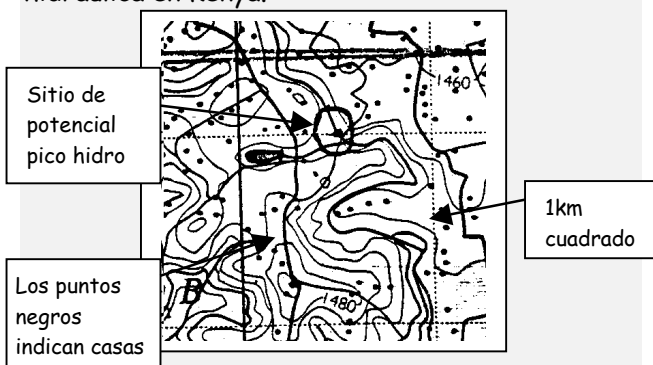


las siguientes preguntas, para poder proceder con el diseño final del proyecto:

1. ¿ Cuántas casas hay dentro de un radio de 1km del sitio propuesto para el generador pico hidro ?
2. ¿ Dentro de esta área, cuántas personas están dispuestos y en capacidad de pagar la electricidad, y cuánto pueden pagar ?
3. ¿ Cuales actividades actuales en la comunidad podrían beneficiarse con la utilización de la potencia de la pico hidro?

### ¿ Cuántas casas hay ?

La cantidad de casas dentro de un radio de 1km es un dato conocido por la gente del lugar, y puede reconfirmarse con un recorrido a pie por el área. 1km usualmente es la distancia económicamente factible para la transmisión de la electricidad de una unidad turbo-generador pico hidro. En algunos países hay mapas recientes preparados en base a fotografías aéreas. En los mapas a escala 1:50,000 pueden estar marcadas algunas de las casas existentes. Si se puede ampliar el mapa en una fotocopidora, esto facilitará la identificación de los rasgos particulares del área y en el mapa ampliado se pueden marcar las casas adicionales existentes. A continuación un mapa de una comunidad rural ubicada cerca de una fuente con potencial hidráulica en Kenya.



A veces es posible suministrar electricidad a casas más distantes, mediante el uso de un transformador, aunque esto aumenta el costo y la complejidad del proyecto. Otra posibilidad es ofrecer un servicio de carga de baterías para familias ubicadas a más de 1 km de distancia del generador (ver Section 13.1). La ubicación óptima del generador usualmente es la más cercana posible al centro de la aldea. La ubicación del generador también, por supuesto, depende de la

fuente de agua. Para más ideas referente la selección de la ubicación óptima del generador y el esquema de las obras civiles del proyecto, léase la Sección 6 abajo.

### ¿ Cuántas personas pagarán la electricidad ?

1. Llevar a cabo una encuesta de las casas ubicadas dentro de un radio de 1km del sitio que parece ser óptimo para la instalación del generador. Obtener el nombre, la dirección y la cantidad de paquetes de iluminación que suscribirá cada familia en base a la tarifa mensual y el cobro de conexión y cobro por materiales de instalaciones domiciliarias ya calculados. Se puede realizar la encuesta a través de reuniones en la comunidad, o a través de visitas a las casas individuales. Los clientes tienen que hacer un compromiso claro en base a los acuerdos del proyecto, y firmar su suscripción por la cantidad de paquetes de iluminación que quieren.
2. Utilizar los resultados de la encuesta para definir la potencia requerida del generador para que suministre la cantidad de electricidad que cubrirá el total de paquetes de iluminación deseados por todos los usuarios.

### Otras actividades que podrían utilizar la potencia de la pico hidro

Otras actividades, normalmente realizadas manualmente o con motores de diesel, pueden aprovechar de la potencia pico hidro. La incorporación de otros usos para la potencia de la pico hidro durante horas del día cuando la potencia no se requiera para iluminación, aumentará el "factor de carga" del sistema pico hidro. Este tipo de mejora en el aprovechamiento de la capacidad de la pico hidro podrá ayudar a disminuir el costo por paquete de iluminación. Sin embargo, los ingresos adicionales que podrán percibirse deberán de incluirse en los cálculos de costos, solo cuando los negocios productivos estuvieran en condiciones de entrar en servicio inmediatamente al entrar en servicio el sistema pico hidro. Algunos usos populares de la potencia pico hidro incluyen:

- procesamiento de productos agrícolas, incluyendo trillado y molienda de granos
- cargada de baterías
- refrigeración y confección de hielo
- potencia para herramientas en talleres.

Ver Section 13 para conocer otras actividades que pueden aprovechar de la pico hidro como fuente de potencia. La guía "Iniciando un Negocio Aprovechando la Fuerza Hidráulica" ["Starting a Business Using Water Power"] presenta más ideas para usos productivos que generan ingresos.

**Ejemplo de Cálculos de Viabilidad:**

En una aldea en Ethiopia, Africa, hay interés en desarrollar un proyecto pico hidro partiendo de un canal de irrigación. Hay hasta 4.5 kW de potencial eléctrico disponible, todo el año, en este sitio. Los líderes de la comunidad quieren saber cuánto costaría construir el sistema pico hidro y conectar a 60 casas.

Hay dos posibilidades:

1. Que la comunidad cubre todos los costos.
2. Que la comunidad preste el capital a un banco y que ellos solo cubran inicialmente los costo del alambrado interno de las casas.

Calcular la tarifa por paquete de iluminación de 15W, para ambas opciones de financiamiento, y decidir cual es la más viable.

**1. Sin préstamo bancario**

Suponiendo que el costo del capital del proyecto es \$3000/kW, el costo del capital para cada paquete de iluminación de 15W es  $15/1000 \times 3000 = \$45$ .

En Addis Ababa se han obtenido costos para la instalación domiciliar de un paquete de iluminación de 15W. Detalles de los componentes y costos para el alambrado domiciliar y el limitador de carga son:

Item	Especificación	Costo\$
Tubo + portatubo	9W CFL	8.22
Apagador	"en línea"	0.60
Tomacorriente	superficial	0.72
Cable	0.75mm <sup>2</sup> x 5m	0.60
Fusible+portafusible	3A / 220V	0.60
Limitador de carga	PTC Thermistor	0.97
Apagador	220V p/ aislar	0.97
Caja Plástica	75 x 50 x 25mm	1.20
Sello para la Caja	Etiqueta Impresa	0.12
	<b>Total</b>	<b>\$14.00</b>

Los costos anuales para el mantenimiento del sistema se calcularán como 6% de los costos de capital. Eso arroja un costo mensual por cada paquete de iluminación de:

$$45 \times 0.06 / 12 = \$0.23 \text{ mensuales.}$$

Se estima el pago del operador en \$30 mensualmente. Se estima que cada una de las 60 familias suscribirán un promedio de dos paquetes de iluminación c.u. Eso arroja un costo del operador por cada paquete de iluminación de  $30/120 = \$0.25$  mensual.

Entonces para esta opción el consumidor tendrá que pagar los siguientes costos por cada paquete de iluminación :

Derecho de conexión	\$45.00
Alambrado domiciliar	\$14.00
Tarifa mensual p/ mantenimiento	\$0.23
Tarifa mensual p/ pago operador	\$0.25

Por ejemplo, un cliente quien suscribe a 2 paquetes de iluminación tendría que pagar  $2 \times [\$45 + \$14] = \$118$  inicialmente y una tarifa mensual de aproximadamente  $2 \times [\$0.23 + \$0.25] = \$0.96$ .

**2. Con préstamo bancario**

Se ha indagado referente a las tasas de interés cobrados por los bancos locales. Uno de los bancos ofrece prestar el capital requerido a una tasa de interés del 25% anual. Esta es la mejor oferta. El banco exige las escrituras de las fincas de los líderes de la comunidad en garantía del préstamo.

Los abonos anuales (R) por cada \$1000 prestados, pueden calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$R = L \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

L = monto del préstamo (p.e. \$1000)

i = tasa de intereses (p.e. 25%)

n = años de plazo

Los abonos anuales han sido calculados para préstamos con 5, 10 y 15 años de plazo.

Para el plazo de 5 años, el abono anual es :

$$R = 1000 \times \frac{0.25(1 + 0.25)^5}{(1 + 0.25)^5 - 1} = \$372$$

Sumando los abonos de los 5 años eso representa un repago total de \$1860

De manera parecida,  
para un plazo de 10 años  
los abonos anuales son de \$280  
(repago total en 10 años = \$2,800 )

para un plazo de 15 años  
los abonos anuales son de \$259  
(repago total en 15 años = \$3,887 )

Basado en los abonos anuales, ahora podemos calcular la tarifa mensual que resulta para cada paquete de iluminación:

Plazo de repago del préstamo	5 años	10 años	15 años
Abonos sobre los costos de capital y del alambrado domiciliar	\$1.83	\$1.38	\$1.27
Mantenimiento(6%)	\$0.23	\$0.23	\$0.23
Pago del operador	\$0.25	\$0.25	\$0.25
Total tarifa mensual	\$2.31	\$1.86	\$1.75

#### Comentarios

Los costos para el mantenimiento y el pago del operador se calculan igual que en los ejemplos anteriores. Estamos suponiendo que los intereses del préstamo se calcularán anualmente y que sean iguales cual que sea el plazo. En realidad las tasas de intereses usualmente son menores cuando los montos totales sean mayores, y también cuando los plazos sean mayores.

## 6 ESQUEMA DE LAS OBRAS

- 6.1 ¿Cuales son los factores que influyen en el diseño preliminar de las obras ?
- 6.2 Ejemplos de Esquemas de Obras
- 6.3 Esquema 1: Tubería Forzada Larga, Cables Cortos
- 6.4 Esquema 2: Tubería Forzada Corta, Cables Largos
- 6.5 Esquema 3: Incorporando un Canal
- 6.6 Esquema 4: Tubería de Baja Presión con

### 6.1 ¿Cuales son los factores que influyen en el diseño preliminar de las obras ?

Las decisiones referente el diseño preliminar de las obras afectarán el nivel de potencia, la confiabilidad, el costo y la accesibilidad del servicio eléctrico. Vale la pena considerar varias opciones de esquemas de las obras, para asegurar la selección de la opción que más conviene.

Hay que tomar en cuenta los siguientes factores en el diseño preliminar de un sistema pico hidro:

- **Ubicación de las casas en relación a la fuente de agua**  
En caso que las casas estén ubicadas muy distantes de la turbina, probablemente el proyecto resultará muy costoso. Busque como reducir el costo de las líneas de distribución eléctrica.
- **Requerimiento de Potencia**  
La potencia que se podrá generar con el proyecto pico hidro depende del caudal que se aprovecha, y el desnivel aprovechable. Ambos parámetros se verán afectados por el esquema seleccionado de las obras civiles.
- **Derechos al Uso del Agua**  
La verificación de los derechos al uso del agua, y las negociaciones con todas las partes interesadas en la fuente de agua, son pasos importantes del proceso de planificación del proyecto. Se deberán conocer las respuestas a las siguientes preguntas :  
¿Quién es el dueño del terrenos donde se construirán las obras del proyecto pico hidro?  
¿Quiénes actualmente utilizan esta agua y para cuales propósitos ?  
Deberán de aclararse los acuerdos referente a los usos y derechos de utilización del agua, antes de comenzar la construcción de las obras. De esta manera se evitan conflictos que podrían tener un impacto negativo sobre la operación del proyecto pico hidro cuando entre en servicio.
- **Costos y disponibilidad de los materiales y componentes**  
El diseño afecta al costo y también a la potencia del sistema. El reto principal del

diseñador de las obras es él de mantener tanto la tubería como las líneas de distribución eléctrica, lo más cortos posibles. Los costos y también las pérdidas aumentan cuando las tuberías y las líneas eléctricas sean largos. En áreas de difícil acceso, la dificultad de transportar los materiales de construcción también pueden afectar las decisiones referente a las obras civiles del proyecto tales como las captaciones, canales, y reservorios de agua.

- **Proyectos de agua potable e irrigación**  
En algunos casos es posible combinar un proyecto pico hidro con otras iniciativas locales tales como proyectos de suministro de agua potable o nuevos sistemas de irrigación. Eso puede afectar las decisiones referente el diseño de las obras de la pico hidro.

La tarea que enfrenta el diseñador de las obras civiles usualmente requiere de algunas decisiones al "termino medio". El esquema más obvio para un sitio dado, pueda que no sea el más conveniente a final de cuentas, y siempre deberían de considerarse varias alternativas.

El largo de la tubería forzada y el largo de los cables de distribución eléctrica, en particular, tienen que ser cuidadosamente valorizados. Para permitir comparar diferentes opciones de esquemas de las obras, es útil tener a mano un listado de los costos locales de diferentes tamaños y tipos de tuberías plásticas, y de diferentes calibres de cable eléctrico. Estos datos de costos permitirán realizar estimados preliminares de costos de las diferentes opciones de diseño de obras.

En esta etapa de definición del esquema básico de las obras, no se requieren de diseños detallados, pero será beneficioso que el diseñador haya leído y entendido las Secciones 10, 11 and 14 de este manual, antes de tomar las decisiones finales sobre el esquema básico del proyecto.

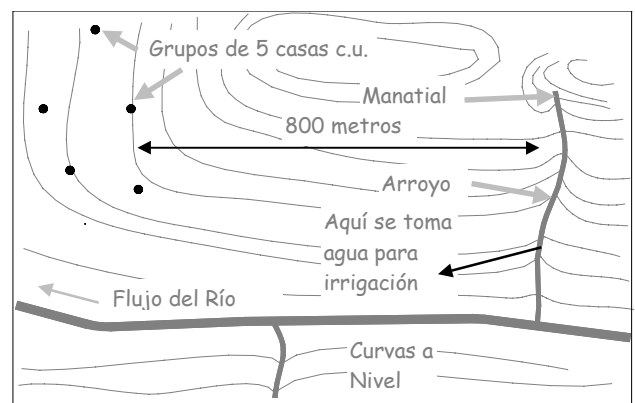


Figura 6.0 Un mapa del sitio es esencial para la planificación del esquema básico de las obras. Sobre este mapa, puntos de igual elevación han sido unidos con curvas de nivel

## 6.2 Ejemplos de Esquemas de Obras

Consideramos cuatro opciones para las obras, en el siguiente ejemplo de un proyecto pico hidro típico situado en terrenos con buenas pendientes.

En este lugar, hay suficiente agua en el arroyo durante todo el año para suplir aproximadamente 100 W de electricidad a cada una de las 25 casas de la comunidad. Sin embargo, existe una distancia considerable entre la fuente del agua y las casas más cercanas de la aldea (aproximadamente 800m), y, durante la temporada seca, cierta cantidad de agua es sustraída del arroyo para irrigar unos terrenos agrícolas. Se ha preparado un mapa o plano del sitio, lo cual se demuestra en la figura en la página anterior.

Se han trazado las curvas de nivel, las cuales unen puntos de igual elevación. Hay 10m de desnivel entre cada curva de nivel y la próxima. Las elevaciones van incrementándose a medida que aumenten las distancias del río; el río fluye por un valle.

Nota: En las figuras, cada cuadrado negro representa a 5 casas.

Visto que el arroyo dista de la aldea, hay varios esquemas para las obras que pueden ser factibles, y hay que analizarlos todos. Los rasgos principales de cada esquema se anotan para compararlos el uno con el otro.

### 6.3 Esquema 1: Tubería Forzada Larga, Cables Cortos

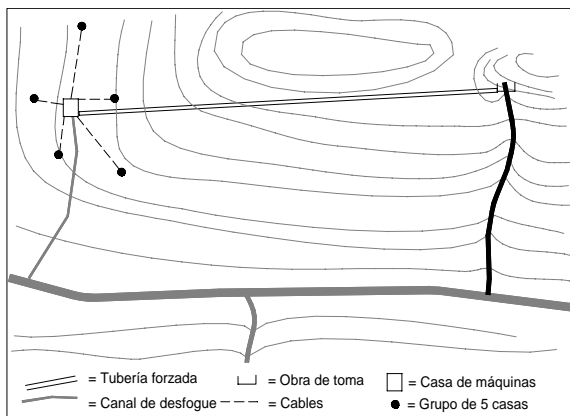


Figure 6-1 El Esquema 1 se caracteriza por una red de distribución eléctrica lo más corto posible, con un mínimo de gasto en la compra de cables. Sin embargo, la tubería forzada es larga y va a tener un costo alto.

En el Esquema 1, la tubería forzada es larga, y conduce el agua a un lugar conveniente para la casa de máquinas ubicada en la comunidad, eso permite líneas de distribución eléctrica cortas. Las obras civiles son mínimas, visto que la captación de agua también sirve como cámara de presión o reservorio.

- Las aguas de desfogue de la turbina no retorna al mismo arroyo, resulta negativamente afectado la función de irrigación. Habrán problemas con los derechos de uso del agua con todos los esquemas salvo el Esquema 2.
- Podrá desperdiciarse gran parte del desnivel disponible, a menos que se utilice una tubería forzada de diámetro grande.
- El costo de la tubería probablemente va a ser el costo mayor del proyecto, en caso de construir conforme el Esquema 1. Ver Section 11 para consejos referente la selección de la tubería forzada.

### 6.4 Esquema 2: Tubería Forzada Corta, Cables Largos

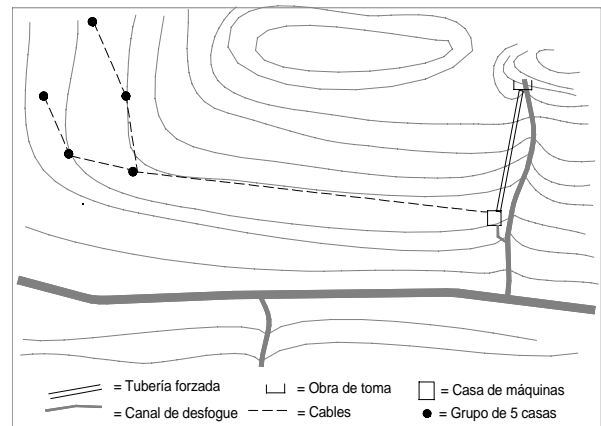


Figure 6-2 Esquema 2 Tubería forzada corta y líneas de distribución eléctrica larga. No se afectan los derechos del agua para riego.

En este diseño, el costo y las pérdidas de presión en la tubería forzada están reducidos, porque la tubería forzada es más corta. El agua descargada de la turbina retorna al mismo arroyo, por lo cual no afecta a la irrigación

- El cable de distribución eléctrica será bastante costoso, deberá de seleccionarse el cable con cuidado para minimizar los costos a la vez evitando pérdidas excesivas de voltaje.
- La casa de máquinas queda largo de la aldea, lo cual puede resultar inconveniente.

Para información referente el diseño y costos del las líneas de distribución eléctrica, ver la Section 14.

### 6.5 Esquema 3: Incorporando un Canal

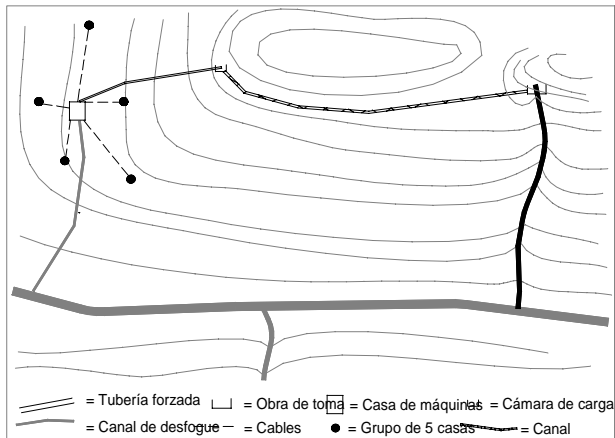


Figura 6-3 Esquema 3 El uso de un canal reduce la longitud de las tuberías y las líneas eléctricas requeridas.

En este esquema, el agua fluye por un canal hasta un punto cercano a la comunidad. La construcción de un canal tan largo requiere de mucho trabajo manual, pero tiene la ventaja de reducir los costos tanto de la tubería forzada como de las líneas eléctricas, porque tanto tubería como líneas se acortan.

- Si el canal es de tierra, requerirá de mantenimiento frecuente.
- Si se reviste el canal con concreto, tendrá más durabilidad pero puede resultar costoso, especialmente si el sitio es de difícil acceso para la introducción de los materiales.
- El uso de canales deberá de evitarse en áreas propensas a reventadas o deslizamientos de tierra.

Ver Section 10.2 para mayor información referente el diseño de canales.

### 6.6 Esquema 4: Tubería de Baja Presión con Almacenamiento de Agua

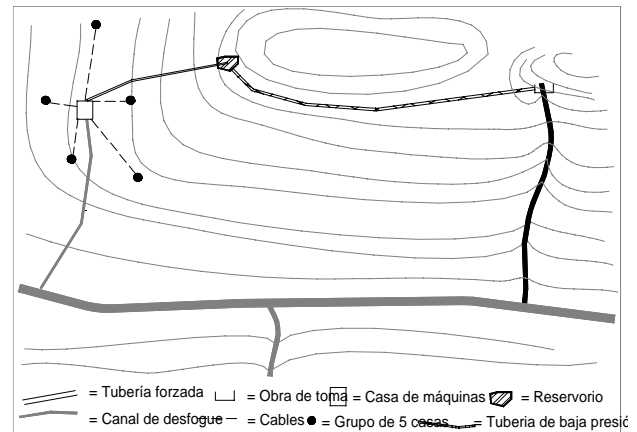


Figura 6-4 Esquema 4. Una versión modificada del esquema anterior. En vez del canal, se utiliza una tubería de baja presión. La cámara de presión se ha hecho más grande para almacenar agua (energía).

El Esquema 4 es parecido al esquema 3 pero en vez del canal ahora tenemos un tramo de tubería de baja presión, y se ha ampliado la cámara de presión para formar un pequeño reservorio. Tuberías adecuadas para el tramo de baja presión frecuentemente se vende como tubería de drenaje. Este tipo de tubería es considerablemente más barato por metro que las tuberías apropiadas para la tubería forzada.

- Se reducen los requerimientos de mantenimiento, visto que se ha eliminado el canal.
- El tubo es más fácil de instalar que un canal.
- Se requieren mayor cantidad de materiales de construcción, mano de obra, y mantenimiento para hacer el reservorio, y hay que comprar la tubería de baja presión.
- El reservorio permite un manejo más sencillo del recurso de agua en la temporada seca, y permite utilizar tubos de menor diámetro en el tramo de tubería de baja presión.

Ver en la Section 10.4 los procedimientos para el diseño de un reservorio.