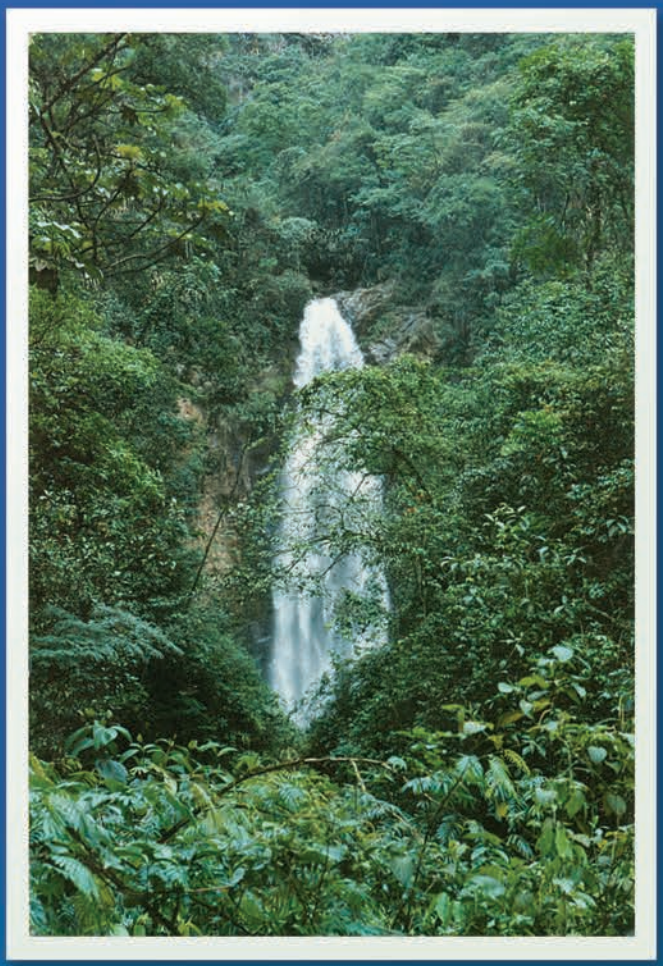


Hidrogeneración en Pequeña Escala

una experiencia local
Programa Hidroenergético

José Luis Monroy Cuellar
Emilio Montaño Gonzales

Universidad
Mayor de San Andrés

ihh
Instituto de Hidráulica
e Hidrología

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
Instituto de Hidráulica e Hidrología Ihh

HIDROGENERACIÓN EN PEQUEÑA ESCALA UNA EXPERIENCIA LOCAL PROGRAMA HIDROENERGÉTICO

José Luis Monroy Cuellar
Emilio Montaño Gonzales

José Luis Monroy Cuellar
Emilio Montaño Gonzales

HIDROGENERACIÓN EN PEQUEÑA ESCALA
UNA EXPERIENCIA LOCAL PROGRAMA HIDROENERGÉTICO

Instituto de Hidraúlica e Hidrología
Universidad Mayor de San Andrés

Primera Edición
Agosto, 2015

Depósito Legal: 4-1-2828-15
ISBN: 978-99974-868-0-6
Impreso en ESPRIT S.R.L.
La Paz - Agosto
2015

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA 2
3. MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS 5
3.1. Obras civiles 6
3.1.1. Obra de toma 7
3.1.2. Aducciones 15
3.1.3. Desarenador - cámara de carga 18
3.1.4. Tubería de presión 20
3.1.5. Casa de máquinas 22
3.2 Equipo de generación 24
3.2.1. Turbina Pelton 26
3.2.2. Turbinas Michell Banki 29
3.2.3 Reguladores de velocidad 32
3.2.4 Equipos completos de generación 36
3.3 Redes eléctricas 38
4. PROYECTOS EJECUTADOS 40
4.1. Modalidad de ejecución 40
4.2 Proyectos ejecutados 42
5. APLICACIONES PRODUCTIVAS 63
6. GESTIÓN, ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 68
6.1. Gestión de los proyectos 68
6.2. Aspectos administrativos 69
6.3. Operación y mantenimiento 71
7. ASPECTOS ECONÓMICOS 73
8. IMPACTOS 77
8.1. Impacto económico 78
8.2. Impacto en el ámbito social 79
8.3. Impacto ambiental 81
9. BIBLIOGRAFÍA 85
10. ANEXOS 87
Microcentral San Pedro de Condo 89
Microcentral Hidroeléctrica Pongo I 90
Microcentral Hidroeléctrica Pongo II 91
Microcentral Hidroeléctrica Pongo III 92
Microcentral Hidroeléctrica Choro 93

Microcentral Hidroeléctrica Quehuiña Pampa 94
Microcentral Hidroeléctrica Leque 95
Microcentral Hidroeléctrica San Pedro 96
Microcentral Hidroeléctrica Tumupasa 97
Microcentral Hidroeléctrica Unduavi 98
Microcentral Hidroeléctrica Flor de Mayo 99
Microcentral Hidroeléctrica Covendo 100
Microcentral Hidroeléctrica Taipiplaya 101
Microcentral Hidroeléctrica Camata 102
Microcentral Hidroeléctrica Charía 103
Microcentral Hidroeléctrica Agua Blanca 104
Microcentral Hidroeléctrica Calzada 105
Microcentral Hidroeléctrica Chucura 106
Microcentral Hidroeléctrica Poroma 107
Microcentral Hidroeléctrica San José 108
Microcentral Hidroeléctrica Volcán Blanco 109
Microcentral Hidroeléctrica Yanamayu 110
Microcentral Hidroeléctrica Munaypata 111
Microcentral Hidroeléctrica Nogalani 112
Microcentral Hidroeléctrica Quinuni 113
Microcentral Hidroeléctrica Palmeras 114
Microcentral Hidroeléctrica Sandillani 115
Microcentral Hidroeléctrica Siguani 116
Microcentral Hidroeléctrica Copachullpa 117

PRESENTACIÓN

Cuando en noviembre de 2012, el Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social, dependiente del Vicerrectorado, tuvo la iniciativa de realizar la primera versión del Premio a la Producción Intelectual del investigador de la UMSA en la categoría artículos de investigación indexados pensó en la necesidad de trabajar en acciones estratégicas orientadas a incentivar en docentes e investigadores, la publicación de los resultados de programas y proyectos en distintas áreas del conocimiento.

Una respuesta favorable a esa iniciativa, nos motivó a trabajar en la segunda y tercera versiones.

En 2014, el Premio a la Producción Intelectual del investigador de la UMSA fue convocado en la categoría trabajos inéditos de investigación, con la intención de apoyar a los docentes investigadores que hubieran concluido con procesos de investigación, pero por razones presupuestarias veían postergada la publicación de esos resultados.

Conformamos una Comisión de Evaluación con destacados profesionales en distintas áreas del conocimiento que consideró criterios metodológicos, estructura del trabajo, consistencia y rigor en la argumentación utilizada, su relevancia y aspectos formales de presentación.

Esta Comisión de Evaluación emitió un Acta Resolutiva mediante la cual determinó otorgar el Premio a la Producción Intelectual del investigador de la UMSA 2014, Tercera versión, Categoría trabajos inéditos de investigación, en el área de ciencias naturales, tecnología e ingeniería al Ing. José Luis Monroy Cuellar y al Ing. Emilio Montaño Gonzales por el trabajo “Hidrogenación en pequeña escala una experiencia local: Programa Hidroenegético”. El premio comprometido fue la publicación del libro que usted tiene en sus manos y que, sin duda, constituye una señal tangible de la vocación creativa y propositiva de la Universidad Mayor de San Andrés.

De esta manera, el Departamento de Investigación, Postgrado e Interacción Social está cumpliendo con el compromiso asumido con los docentes e investigadores que participaron de la convocatoria.

Nuestro reconocimiento público a la Agencia Sueca de Cooperación para el Desarrollo Internacional (Asdi), por haber comprendido los objetivos de esta iniciativa y apoyar con el financiamiento para la publicación de este libro.

Dr. Alberto Quevedo Iriarte
Vicerrector
Universidad Mayor de San Andrés

Justo Zapata Quiroz Ph.D.
Jefe Departamento de Investigación,
Postgrado e Interacción Social
Universidad Mayor de San Andrés

RECONOCIMIENTO

Al antropólogo francés George Pratlong por su apoyo decidido en la ejecución del proyecto “Microcentral Hidroeléctrica Condo”, primer proyecto ejecutado por el Programa Hidroenergético y que dio origen a este.

Al Fondo Canadiense de Iniciativas Locales FCIL por apoyar financieramente a la ejecución de varios proyectos que se realizaron en los inicios del Programa Hidroenergético y que permitieron investigar e implementar tecnología principalmente sobre turbinas hidráulicas y reguladores electrónicos de velocidad. A los coordinadores de este Fondo que trabajaron con nosotros: inicialmente Ann Sadler y posteriormente Marco Antonio Medina.

Al Programa de Pequeñas Donaciones PPD del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD y a su coordinador ingeniero Rubén Salas, quienes apoyaron decididamente al Programa Hidroenergético por cerca a una década. En este tiempo, trabajando conjuntamente, se realizaron varios proyectos de gran impacto en las comunidades beneficiarias, que permitieron un desarrollo permanente en la tecnología de los equipos de generación implementados en estos proyectos y en otros y en el desarrollo de modelos de obras civiles adecuados para este tipo de obras.

Al Instituto de Hidráulica e Hidrología, por su permanente apoyo para la implementación del Programa, lo que ha permitido cumplir con los objetivos planteados en los inicios de este.

Al ingeniero Jorge Molina C. por la revisión realizada a este texto y por sus valiosas observaciones que permitieron mejorarlo.

SIGLAS

APC Japón	Proyectos Comunitarios de Seguridad Humana. Embajada de Japón
CIPLA Apolo	Central Indígena del Pueblo Leco de Apolo
FCIL	Fondo Canadiense de Iniciativas Locales
FONADAL	Fondo Nacional de Desarrollo Alternativo
GM Inquisivi	Gobierno Municipal de Inquisivi
GTZ Alemania	Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit
IHH	Instituto de Hidráulica e Hidrología
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PNCC	Programa Nacional de Cambios Climáticos
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PPD	Programa de Pequeñas Donaciones
SERNAP	Servicio Nacional de Áreas Protegidas
SKAT	Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management
UE	Unión Europea
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
VMEEA	Viceministerio de Energía y Energías Alternativas

1. INTRODUCCION

A principios de la década de los años setenta del siglo pasado se produjo una crisis del petróleo a nivel mundial originada por la subida de los precios, impuesta por la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo miembros de la OPEP, unidos con Egipto, Siria y Tunez, como represalia al apoyo de occidente a Israel durante la guerra del Yom Kippur que enfrentaba a Israel con Siria y Egipto.

El aumento del precio y la gran dependencia de los países occidentales del petróleo, originó una profunda crisis económica con efectos inflacionarios y reducción de la actividad económica en estos países.

Uno de los efectos de la crisis fue originar un renovado interés en el desarrollo de las energías alternativas, entre las que se encontraba la generación hidroeléctrica en pequeña escala. En los países del llamado tercer mundo, esta labor se realizó, inicialmente con apoyo de instituciones y principalmente de universidades de países desarrollados que transfirieron tecnología, como por ejemplo el caso de SKAT (Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management) de Suiza que trabajó en el desarrollo de turbinas hidráulicas y microcentrales hidroeléctricas, asociado con universidades e instituciones de Nepal.

En Bolivia, acciones de desarrollo de la hidrogeneración en pequeña escala se realizaron en forma independiente, con escaso apoyo directo de instituciones extranjeras. Entre mediados y fines de los años ochenta del siglo pasado, el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés tuvo su primera experiencia en este campo con la construcción de una microcentral hidroeléctrica en la comunidad de San Pedro de Condo, Oruro, para la cual se fabricó localmente una turbina hidráulica tipo Michell Banki diseñada por SKAT. Esta primera experiencia, no muy exitosa por cierto, permitió reflexionar en la necesidad de instituir un programa local que permita contribuir al desarrollo de la hidroenergía en pequeña escala en el país.

De esta forma, a principios de los años noventa, en el Instituto se creó el Programa Hidroenergético para coadyuvar en la solución a la escasa cobertura de electrificación rural existente en el país en ese momento (cerca al 20%), considerando que en la zona Andina existían muchos potenciales hidroenergéticos y comunidades sin electrificación que contaban con ríos y saltos adecuados y cuya posibilidad de conectarse a las redes eléctricas nacionales era prácticamente nula debido su aislamiento y a los altos costos y reducida demanda que significaban.

Los objetivos inicialmente planteados en el Programa fueron los siguientes:

El objetivo principal: coadyuvar en el desarrollo de la hidroenergía en pequeña escala en el país.

Los objetivos específicos:

- Desarrollo de un enfoque adecuado para la concepción, diseño, construcción, operación y mantenimiento de pequeños proyectos hidroenergéticos.
- Desarrollo de turbinas hidráulicas tipo Pelton.
- Desarrollo de turbinas hidráulicas tipo Michell Banki.
- Desarrollo de reguladores de velocidad electrónicos.
- Montaje de equipos hidroeléctricos completos.

Pese a los esfuerzos gubernamentales y privados realizados hasta la actualidad, la situación del área rural no se ha modificado sustancialmente. La cobertura de electrificación rural en el país es todavía escasa, se encuentra alrededor del 50% y existen aún muchas comunidades y pequeñas poblaciones sin electrificación que tienen potencial hidroeléctrico que puede ser desarrollado.

Por esta razón el Programa Hidroenergético actualmente cuenta con plena vigencia y aunque en gran medida, los objetivos específicos planteados se han cumplido, esta labor no ha finalizado, debido a las razones anteriormente expuestas y a la necesidad permanente de perfeccionar la tecnología desarrollada y de prestar asistencia técnica y asesoramiento a proyectos ejecutados que se encuentran en operación.

El Programa Hidroenergético ha trabajado durante todos estos años, desarrollando emprendimientos y tecnología propia fruto del estudio, observación y experiencia basada en muchos proyectos ejecutados en el área rural del país.

El presente trabajo trata de reflejar lo realizado hasta la actualidad, sin el afán de constituirse en un manual de diseño de pequeñas plantas hidroeléctricas, tocando en forma integral la problemática planteada, considerando aspectos técnicos, constructivos, económicos, de impacto, de gestión y de operación y mantenimiento.

2. GENERACION HIDROELECTRICA

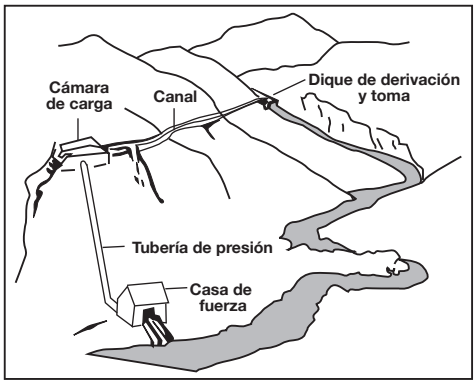
Una central hidroeléctrica es una planta que convierte la energía del agua en energía eléctrica. Existen diferentes tipos de centrales hidroeléctricas; las centrales que cuentan con altas y medianas caídas o saltos, generalmente tienen la siguiente configuración:

1. Dique u obra de toma de derivación que en centrales de derivación sirve para captar el agua del río, en centrales de regulación de caudal se construye una represa grande que sirve para almacenar agua en periodos lluviosos y utilizarla en periodos secos.

2. Canal o tubería de aducción que transporta el agua desde la toma hasta la cámara de carga.

3. Cámara de carga, donde llega el agua proveniente la toma y de donde parte la tubería de presión. Generalmente se construye aledaño a esta un desarenador para decantar las arenas y evitar que entren a la tubería de presión.

Fig.1. Central hidroeléctrica de derivación.



Fuente: Ref. Bibliog. (1)

4. Tubería de presión que transporta el flujo hasta la turbina hidráulica.

5. Casa de fuerza o de máquinas, donde se instala el equipo de generación. Cuenta con una canal de salida que devuelve el agua que pasa por la turbina al río.

6. Equipo de generación, que permite convertir la energía del agua en energía eléctrica.

Como se observa en la fig. 2 el equipo de generación tiene los siguientes componentes fundamentales: 1. Turbina hidráulica o motor de agua. 2. Generador eléctrico. 3. Gobernador o regulador de velocidad que permite obtener energía eléctrica de frecuencia y voltaje constantes. En pequeñas centrales, generalmente se utiliza gobernador de carga electrónico, que desvía la carga remanente a un circuito auxiliar, generalmente constituido por un tanque de agua con resistencias eléctricas.

Fig.2. Equipo de generación MCH Munaypata

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig.3. Tanque disipador de energía con resistencias.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En las plantas, la conversión energética se realiza en dos pasos: el agua que cae desde una cierta altura cuenta con energía potencial que se convierte en energía mecánica de rotación en el eje de la turbina hidráulica, en un primer paso de conversión energética y en energía eléctrica en el generador eléctrico acoplado a la turbina en un segundo paso de conversión energética.

Es posible aprovechar únicamente la energía mecánica acoplando directamente al eje de la turbina aparatos como molinos, sierras circulares, sopladores de aire, etc. o aprovechar la energía generada en el generador eléctrico transportandola a distancia a través de cables eléctricos para consumo doméstico y para mover distintos motores y aparatos eléctricos.

La potencia que se puede generar como producto de la caída del agua es directamente proporcional al caudal o cantidad de agua que circula en el tiempo y al salto o desnivel

que esa agua recorre. En términos matemáticos, la potencia será:

$$P = 9.8QHn\eta(kW)$$

Donde: Q es el caudal (m3/s), Hn es el salto neto (m) y η es un factor adimensional de eficiencia de los aparatos, básicamente de la turbina y del generador acoplado a esta.

Debido a que el agua en su recorrido a través de un conducto o tubería de presión, desde la parte alta hasta la turbina hidráulica , sufre una serie de pérdidas de energía debidas al rozamiento del líquido con las paredes del tubo y la turbulencia que se produce en los accesorios de este (rejillas, codos, reducciones, bifurcaciones, válvulas, etc.), la energía neta o salto neto que llega a la turbina es igual al salto bruto Hb o desnivel existente entre el nivel de agua en la cámara de carga y el nivel de la turbina menos las pérdidas que se producen en la tubería, es decir

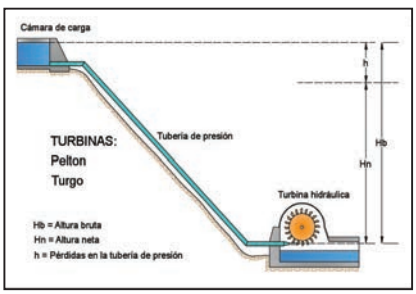
$$Hn = Hb - \sum h$$

Donde $\sum h$ representa la suma de pérdidas que se producen en el conducto o tubería de presión.

Rigurosamente, el salto bruto depende del tipo de turbina que se instala en la planta. Existen diferentes tipos de turbinas hidráulicas que trabajan según rangos de aplicación dependientes del salto neto y del caudal. En general se clasifican en turbinas de acción que son las que funcionan con el rotor o parte rotativa del aparato a presión atmosférica y por la acción del agua sobre las paletas o cucharas de este y las de reacción que funcionan con el rotor inundado a presión mayor que la atmosférica y por reacción del agua sobre el rotor.

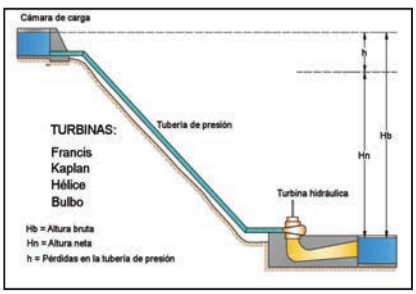
En la fig. 4 se observa el salto bruto en una planta con turbinas de acción tipo Pelton o Turgo. El salto bruto Hb se define como el desnivel entre nivel de agua en la cámara superior y el nivel de agua en el eje del chorro de entrada al rotor de la turbina. En la fig. 5, se observa el salto bruto Hb en una planta con turbinas de reacción (turbinas tipo Francis, Hélice, Kaplan). El salto bruto es el desnivel entre el nivel de agua en la cámara superior y el nivel de agua en el canal de salida de la planta.

Fig. 4. Hb para centrales con turbinas de acción.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 5. Hb para centrales con turbinas de reacción.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En el ámbito de la generación hidroeléctrica en pequeña escala, frecuentemente surge la discusión entre la opción de grandes o pequeñas centrales hidroeléctricas. De acuerdo a la Unión Europea, se consideran pequeñas centrales hidroeléctricas aquellas que generan potencias menores a 10 MW (1 MW = 1000 kW) y grandes a las que generan potencias mayores a 10 MW.

Al respecto es posible concluir que ambas opciones cuentan con ventajas y desventajas. El cuadro siguiente sintetiza comparativamente las ventajas y desventajas de ambas opciones considerando aspectos técnicos, económicos y de impacto ambiental.

Tabla 1. Ventajas y desventajas entre grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas

	GRANDES CENTRALES		PEQUEÑAS CENTRALES	
	P>10 MW		P<10 MW	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Preinversión		Alta	Baja	
Inversión		Alta	Baja	
Costo unitario $/kW	Bajo			Alto
Potencia generada	Alta			Baja
Población abastecida	Alta			Baja
Impactos ambientales		Alto	Bajo	

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

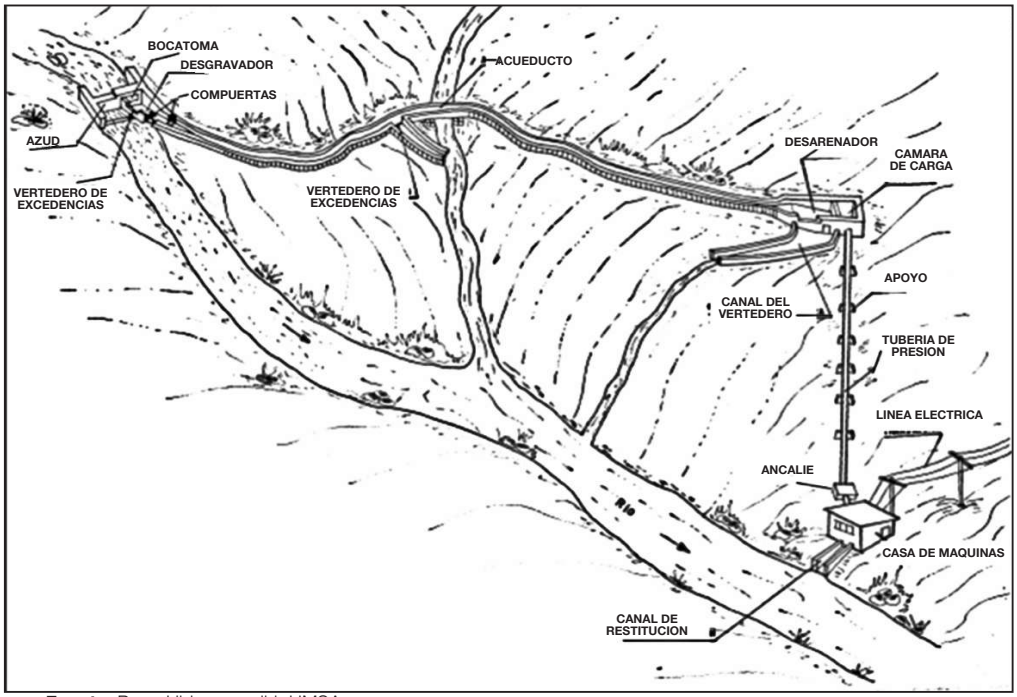
En síntesis se puede concluir que las grandes centrales requieren altas inversiones, causan altos impactos ambientales, pero generan alta potencia y pueden abastecer a grandes poblaciones. Las pequeñas centrales requieren bajas inversiones causan bajos o nulos impactos ambientales, pero generan reducidas potencias y en consecuencia abastecen a reducidas poblaciones.

Es necesario, considerar que ambas opciones no son mutuamente excluyentes. Es decir, es posible desarrollar grandes centrales hidroeléctricas destinadas a satisfacer la demanda de grandes ciudades, centros industriales, comerciales, agrícolas etc., pero también pequeños emprendimientos hidroeléctricos que pueden ser una solución económicamente factible para pequeñas comunidades aisladas con potencial hidroeléctrico, alejadas de la red eléctrica nacional, donde la instalación de esta puede ser muy costosa y el retorno de la inversión poco factible considerando la baja demanda normalmente existente en el área rural boliviana.

3. MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS

De acuerdo con OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), se consideran microcentrales hidroeléctricas aquellas que generan potencias menores a 100 kW. Las microcentrales hidroeléctricas reúnen un conjunto de obras civiles, equipos mecánico - eléctricos e instalaciones eléctricas.

Fig.6. Obras características de una microcentral hidroeléctrica



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Como se observa en la fig. 6, las microcentrales hidroeléctricas cuentan con las siguientes obras civiles: una obra de captación o de toma que permite derivar el agua del río hacia el canal de conducción. El canal o tubería de conducción que conduce el agua captada por la toma hasta la cámara de carga de donde parte la tubería de presión. Asociada a esta cámara, en la misma estructura, se construye un desarenador. La tubería de presión que lleva el flujo desde la cámara de carga hasta la turbina hidráulica. La casa de máquinas donde se instala el equipo de generación, con su canal de salida o restitución.

Los equipos mecánico - eléctricos instalados en la casa de máquinas son: el equipo degeneración compuesto por la turbina hidráulica, el generador eléctrico, el regulador de velocidad y los tableros de control.

Las instalaciones eléctricas están constituidas por las líneas eléctricas que llevan la energía generada en la casa de máquinas hasta los centros de consumo y las redes eléctricas que la distribuyen entre los consumidores finales.

3.1. Obras civiles

Tradicionalmente se encaró el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas de la misma forma que las grandes centrales hidroeléctricas. Las obras civiles se diseñaban a partir de prolongados y costosos estudios, empleando altos factores de seguridad que, considerando la escala de estos proyectos, muchas veces eran innecesarios. Este enfoque incidía elevando el costo final de estas pequeñas plantas y algunas veces inviabilizando los proyectos.

El Programa Hidroenergético, a partir de experiencias externas y propias, desarrolló un enfoque adecuado para la concepción y diseño de pequeños proyectos acorde a su dimensión. De esta forma se creó un paquete tecnológico con obras tipo apropiadas para pequeños proyectos, que de acuerdo a la experiencia ganada en la construcción de muchas de estas obras funcionan adecuadamente y son sencillas y de relativamente bajo costo.

3.1.1. Obra de toma

Las obras de toma para micro hidrogeneración son estructuras que se construyen en los ríos, destinadas a derivar las cantidades de agua necesarias para la generación de energía eléctrica.

Estas obras generalmente cuentan con una barrera transversal al río que permite retener el agua y una bocatoma que capta el caudal necesario.

Para que la toma cumpla su función eficientemente, debe cumplir las siguientes condiciones:

- El diseño debe ser sencillo y de bajo costo
- Se debe prever las obras de seguridad suficientes para que en época de avenidas, el caudal excedentario sea evacuado sin ocasionar daños.
- La toma debe garantizar, captar el caudal necesario en toda época del año, principalmente en época de estiaje (aguas bajas).
- Se debe tratar de captar aguas con la menor cantidad de sólidos posibles a fin de no colmatar los desgravadores ni las obras de aducción.
- El diseño debe prever una operación con mínimo mantenimiento.

Tipos de Obras de Toma

Las obras de toma se pueden clasificar en dos tipos básicos: las obras de toma por derivación directa y las obras de almacenamiento.

Las obras de almacenamiento consisten en presas que cierran el cauce del río creando un reservorio o embalse. El embalse permite la regulación del caudal, almacenando el agua en época de crecientes y utilizándola en época de estiaje o sequía

Las tomas por derivación directa captan el agua que trae el río sin almacenamiento, aprovechando el caudal que existe en un momento dado. Estas tomas generalmente utilizadas en pequeños proyectos se dividen en dos grupos: las obras de toma semipermanentes y las permanentes.

Obras de toma semipermanentes

Este tipo de tomas se han construido en todas las épocas y en diversos lugares, generalmente se las construye de dos formas: las tomas laterales con azud y las sin azud.

Tomas laterales sin azud

La captación se realiza directamente sin cerrar el cauce del río con una presa o azud.

En ríos de montaña, el agua se dirige mediante espigones de mampostería de piedra seca hacia el canal lateral. De esta forma se reduce el costo de la toma, principalmente en ríos de cauce ancho, donde construir un dique o azud derivador sería costoso.

El dimensionamiento exacto de este tipo de toma se dificulta ya que para poder determinar los caudales que entran al canal, sería necesario conocer en todo momento las condiciones de flujo del río, básicamente el nivel del agua.

En general, para que la toma funcione satisfactoriamente, el río debe cumplir las siguientes condiciones:

- El caudal del río debe ser mucho mayor que el caudal que se quiere captar en el canal, para poder garantizar el servicio ininterrumpido.
- Se debe garantizar que el fondo o solera del río en el sitio de la toma no disminuya o se erosione para evitar que el canal lateral quede a cota superior "colgado" sin poder captar agua principalmente en época de estiaje.
- El río debe tener orillas firmes y cauce estable donde no se produzcan derrumbes ni erosiones.
- Este tipo de captaciones laterales sin azud, originan la entrada de gran cantidad de sedimentos al canal, debido a la circulación transversal, causando el acolmatamiento de este.

En ríos de montaña, los espigones que se construyen para guiar las aguas hacia el canal, son destruidos cada año por las riadas, debiendo reconstruírselos permanentemente.

Por las razones anotadas, las captaciones sin presa tienen muchos problemas en su funcionamiento, por lo que se prefiere construir tomas con azud derivador.

Tomas laterales con azud

Las obras de toma semipermanentes con azud, permiten elevar el nivel del agua hasta una cota determinada facilitando la entrada de agua al canal. Debido a que el azud generalmente se construye de mampostería de piedra seca o sentadas de piedras grandes en el río, cuando se producen las avenidas, estas obras son destruidas, debiendo ser reconstruidas anualmente para garantizar la entrada de agua al canal, principalmente en época de estiaje.

Este tipo de toma es de bajo costo inicial pero demanda mantenimiento anual permanente con el consiguiente encarecimiento en la vida útil del proyecto.

Obras de toma permanentes

Se construyen de concreto, hormigón ciclópeo, hormigón armado, gaviones u otros

materiales que garantizan su permanencia en el tiempo, resistiendo el paso del agua, principalmente en avenidas.

Según la forma de captación de agua las tomas pueden ser de tipo "convencional o azud derivador" o del tipo "tirol o caucasiano" (tomas de fondo). Estos dos tipos de obras de toma generalmente se emplean en los pequeños aprovechamientos hidroenergéticos.

Toma tipo convencional o azud derivador

Las obras de toma tipo convencional o azud derivador usualmente se construyen en ríos de montaña. Para su elección priman los siguientes criterios:

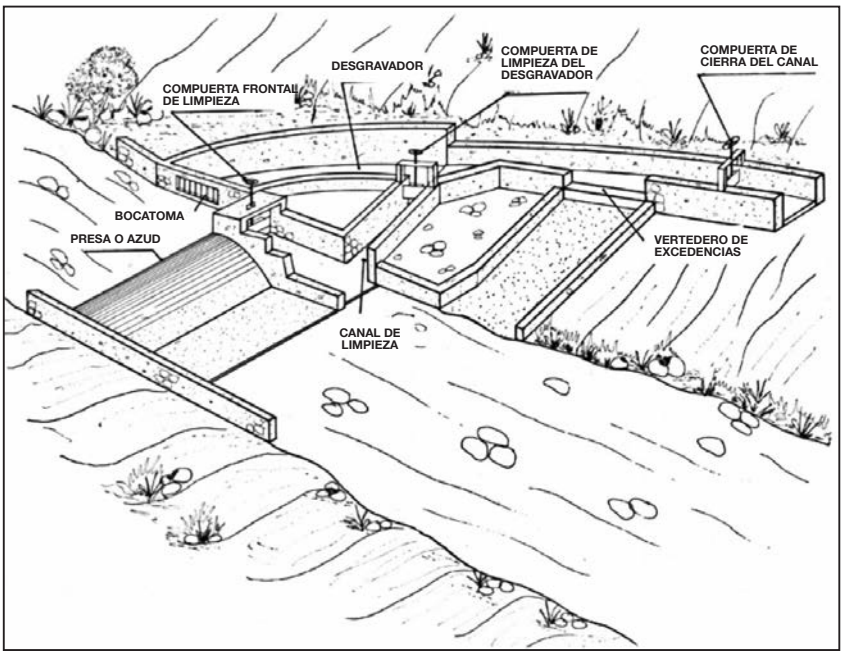
- Se pueden construir en tramos rectos o en curvas de los ríos. Se ha demostrado que si se elige una curva para su construcción, la bocatoma debe situarse en la parte exterior de la curva, así se evitará la entrada de gran cantidad de sedimentos principalmente en crecidas.
- Generalmente estas tomas, para poder captar el agua requieren que el azud esté a cierta altura sobre el lecho del río. A mayor altura del azud, este se encarece y es necesario construir obras de disipación de energía aguas abajo, incrementándose el costo.
- Se pueden construir en ríos con pendientes menores a 4%, lo que no ocurre en las tomas de fondo, solo será necesario elevar el azud lo suficiente como para permitir el lavado de sedimentos del desgravador adyacente hacia el río.

La toma convencional o, azud derivador, usualmente se compone de los siguientes elementos como se muestra en la fig.7.

a) Un azud que cierra el cauce del río y que obliga a las aguas a ingresar a la bocatoma que se encuentra a una cota inferior a su cresta. En época de crecidas, el agua excedente pasa por encima del azud, entrando por la bocatoma mayor cantidad de caudal que el de diseño. Este excedente debe ser eliminado por un vertedero lateral, ubicado generalmente en la pared del desgravador.
b) Bocatoma con reja de entrada que impide el paso de sedimentos gruesos y material flotante (troncos, ramas, etc.). El umbral de la bocatoma se ubica a una cota mayor que la del río.
c) Compuerta frontal de limpieza de los sedimentos atrapados junto a la bocatoma.
d) Desgravador, necesario para detener el material sólido que pase a través de la bocatoma.
e) Compuerta de limpieza del desgravador, necesaria para evacuar los sedimentos atrapados.
f) Canal de limpieza
g) Vertedero de excedencias cuya función es eliminar los caudales excedentes al de diseño, que ingresan en época de crecidas.

i) Compuerta de cierre del canal que sirve para cortar el flujo hacia el canal en caso de mantenimiento de este.

Fig.7. Obra de toma tipo convencional o azud derivador



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En la mayoría de las tomas construidas en los proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético, se prescindió de la compuerta frontal de limpieza de sedimentos atrapados junto a la bocatoma y de la compuerta de cierre del canal, con el objeto de reducir costos y simplificar la obra.

Los sedimentos que se acumulan junto a la bocatoma se remueven en forma manual, generalmente una vez al año después de las crecidas. Para cortar el flujo hacia el canal o tubería de aducción se abre la compuerta de limpieza del desgravador.

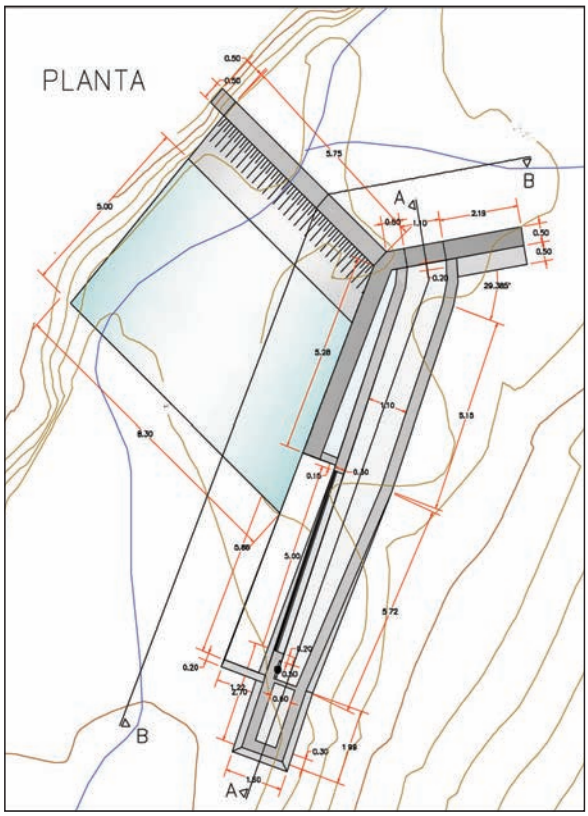
Fig.9. Toma proy. Copachullpa Prov. Inquisivi La Paz.

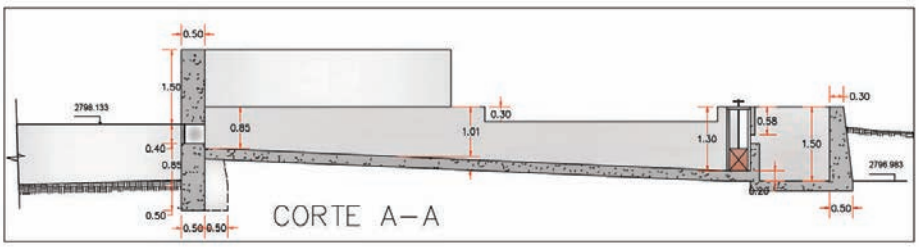
Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig.10. Toma Proy. Agua Blanca Prov. F.Tamayo La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig.8. Obra de toma tipo convencional o azud derivador. Proyecto Central Eduardo Avaroa.





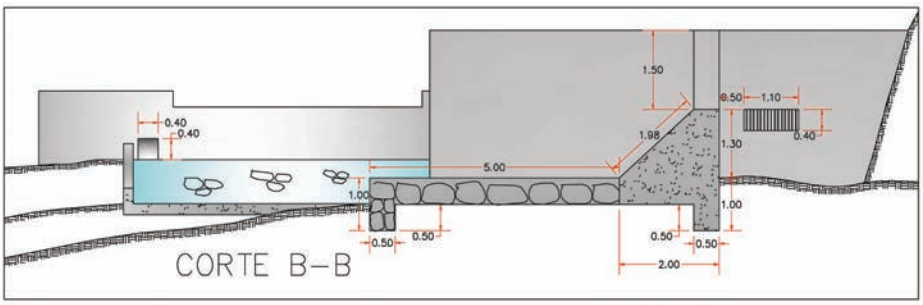


Fig.11. Pantalla, vista desde aguas abajo y desde aguas arriba del vertedero lateral. Proy. Quinuni. Prov. Sud Yungas. La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Por otra parte, se han incorporado pantallas de hormigón armado en el desgravador, ubicadas aguas abajo del vertedero lateral, que solo dejan un orificio para el paso de agua hacia la antecámara o transición existente entre el desgravador y la tubería de aducción o el canal. Estos elementos facilitan el funcionamiento del vertedero lateral durante las crecidas cuando entra agua excedentaria a la de diseño por la bocatoma y permiten contar con menores longitudes de vertedero lateral. En la fig 11 se observa la pantalla de hormigón armado del desgravador de la obra de toma del proyecto Quinuni funcionando en época normal.

Toma tipo Tirol o Caucasiano

Las obras de toma tipo Tirol se construyen en ríos de montaña de fuerte pendiente, que arrastran poca cantidad de sedimentos finos y cuentan con agua limpia en estiaje. Este tipo de obra de toma tiene la ventaja, sobre las tomas convencionales, que no es necesario elevar el azud considerablemente sobre el lecho para poder captar agua, en consecuencia no son necesarias obras importantes de disipación de energía que son bastante costosas.

Con esta toma, se elimina también el problema de la limpieza permanente de sedimentos frente a la reja de la toma convencional.

En ríos de poca pendiente que llevan mucho sedimento fino, no es conveniente la construcción de este tipo de toma debido a que la galería colectora se colmata rápidamente de sedimento que logra pasar por la rejilla y su remoción resulta dificultosa.

Básicamente, la Tirolesa consiste en una rejilla de fondo con cierta inclinación con la horizontal, ubicada sobre una galería hecha en el cuerpo del azud. Frecuentemente, el azud se compone de tres partes:

a) Un tramo de azud macizo sobre el cual vierte el agua en avenidas.

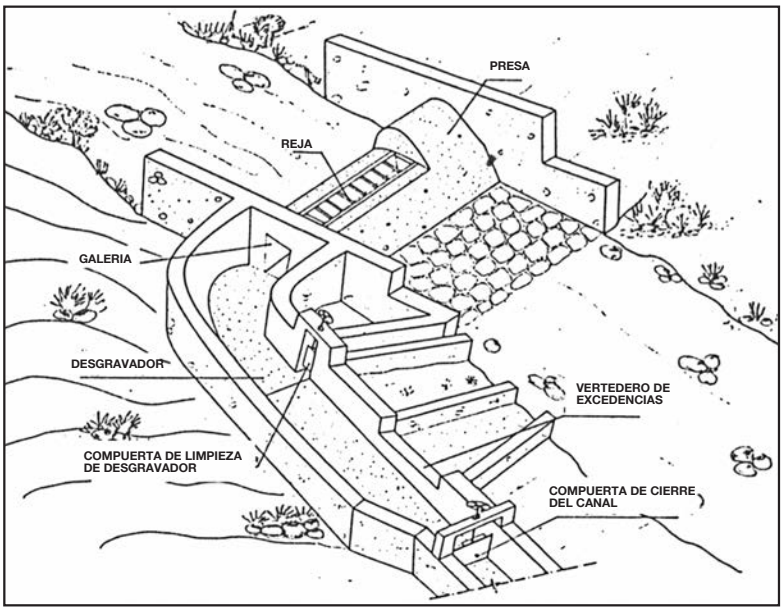
b) Un tramo donde se encuentra la galería con la rejilla inclinada.

c) Un tramo en túnel que comunica con el canal o tubería de aducción.

A la salida del túnel, se debe incorporar un desgravador con su compuerta de limpieza y un aliviadero de excedencias, similar a la toma convencional.

En la fig 12 se observa los componentes fundamentales de una toma de fondo tipo Tirol, donde la reja ocupa gran parte del azud y el tramo en túnel es muy reducido.

Fig.12. Obra de toma tipo Tirol o Caucasiano

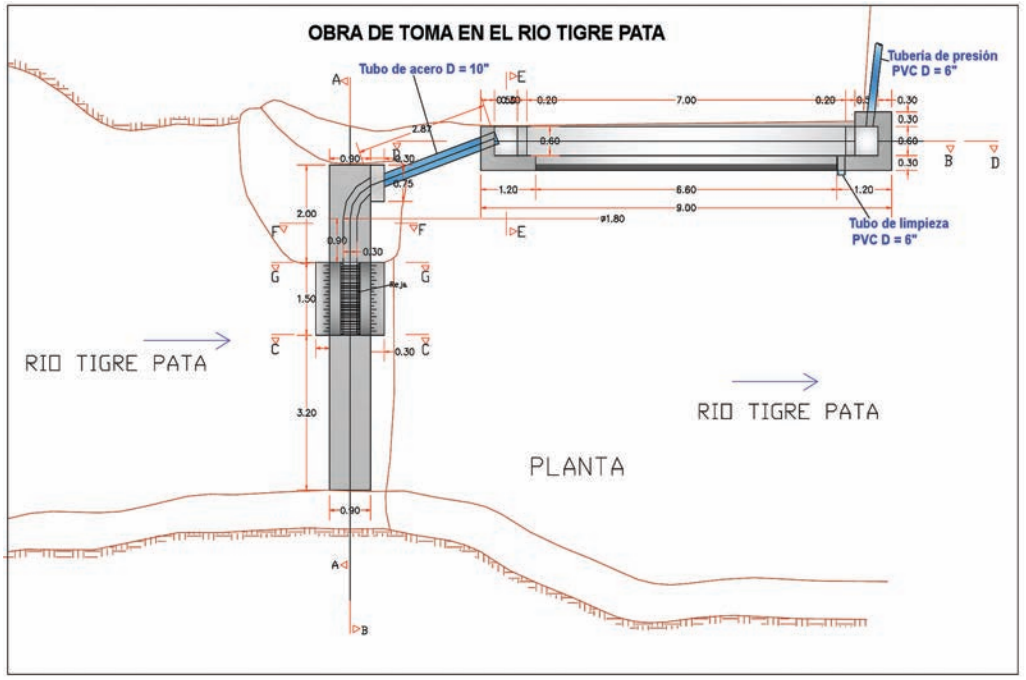


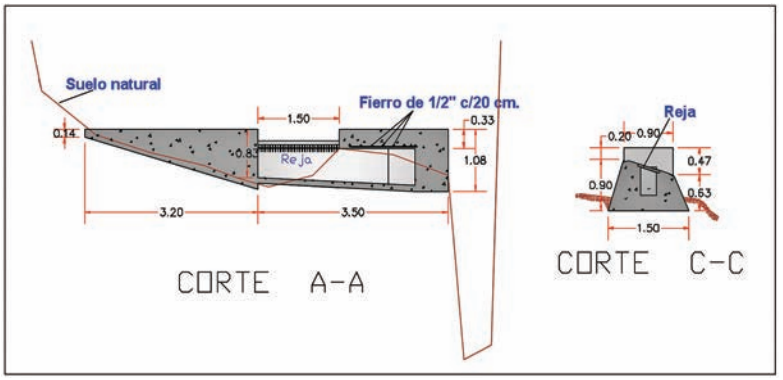
Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

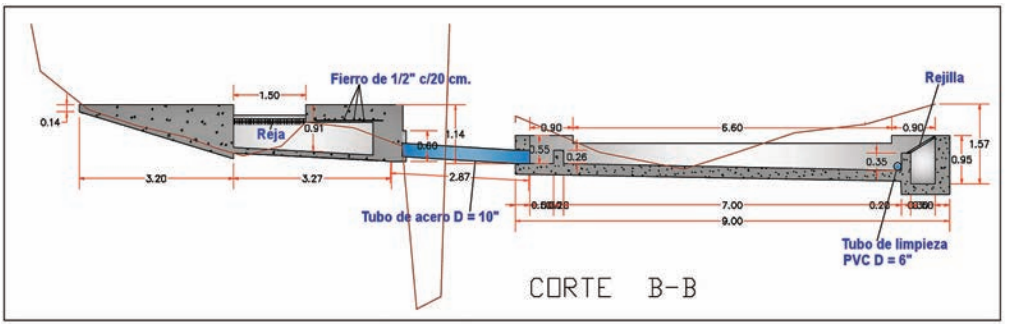
Fig.13. Obra de toma tipo tirol. Proyecto Camata, Prov. Muñecas. La Paz. Vista desde el desgravador de toma. Se observa la salida del flujo de la galería y la entrada al desgravador. La rejilla ubicada detrás del muro cuenta con la inclinación que se aprecia. Parte del vertedero de excedencias se observa a la derecha, en el muro frontal del desgravador.

Fuente: Programa Hidroenergètico ihh UMSA.

Fig.14. Obra de toma tipo Tirol o Caucasiano







Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

3.1.2. Aducciones

Las aducciones son obras de conducción que llevan el agua captada por la obra de toma hasta la cámara de carga. Tradicionalmente, en las pequeñas centrales hidroeléctricas se construyen canales abiertos de pendiente mucho menor que la del río lo que permite ganar altura con respecto al lecho de este, esta altura es la que se aprovecha para generar potencia.

Estos canales se revisten de hormigón u otros materiales, para evitar pérdidas de agua por infiltración, que además puede ocasionar derrumbes de la estructura base.

En lugares con suelos impermeables, generalmente suelos arcillosos o rocosos donde el grado de infiltración es menor, se utilizan también canales sin revestimiento comúnmente llamados acequias lo que permite reducir considerablemente el costo de estas obras con relación a los canales revestidos.

Fig.15. Canal revestido de hormigón.
Proyecto Munaypata Prov. Inquisivi. La Paz

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Debido a que en micro centrales se suelen manejar reducidos caudales, el Programa Hidroenergético adoptó el uso de tuberías de aducción en reemplazo de los tradicionales canales abiertos de hormigón. Se emplean tuberías de PVC fabricadas para alcantarillado sanitario trabajando a tirante parcial a presión atmosférica, con las siguientes ventajas:

- En el caso de ríos de baja pendiente, la aducción debe ser de considerable longitud con el objeto de ganar la mayor altura posible. Construir un canal de concreto demanda mucho mayor tiempo de construcción y un gran esfuerzo para trasladar los agregados hasta el sitio de la obra, principalmente cuando no se cuenta con camino carretero cercano, como es el común de los casos de las microcentrales. Si la obra la realizan los propios comunarios en la modalidad de “autoconstrucción”, se requiere muchos jornales de trabajo para ejecutarla. Reemplazar el canal por una tubería de PVC requiere mucho menor esfuerzo, en consecuencia menor tiempo de trabajo.

- En el canal abierto siempre existen pérdidas de caudal por infiltración y evaporación. Estas pérdidas se minimizan utilizando una tubería de aducción de PVC.
- Un canal de concreto de considerable longitud requiere un mantenimiento permanente para evitar fugas de agua que disminuyen el caudal aportante a la turbina y que en casos severos pueden ocasionar derrumbes localizados por humedecimiento del terreno. La tubería de PVC requiere mucho menor mantenimiento.
- En zonas donde existe frondosa vegetación, un canal abierto transporta gran cantidad de ramas y hojarasca que se introducen a lo largo de todo su recorrido, demandando permanente limpieza de las rejillas incluso varias veces al día. Dado que la tubería de PVC es una conducción cerrada, solo se transportan las ramas y hojarasca que ingresan por la obra de toma, disminuyendo considerablemente la frecuencia de limpiado de las rejillas.
- La instalación de la tubería de PVC requiere menor tiempo y trabajo que el vaciado del canal de hormigón. Solo es necesario excavar una zanja donde enterrarla y realizar el relleno y compactación de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Por otro lado, los tubos de PVC son livianos y en consecuencia fáciles de transportar
- En cuestión de costos, se estima que para caudales relativamente pequeños, aproximadamente hasta 250 l/s, contando con pendientes por encima del 0.5 %, los costos de la tubería son relativamente menores que el canal de hormigón. Por encima de este caudal, dependiendo de la pendiente, se requieren tubos de mayor diámetro tendiendo a incrementarse los costos. Estas estimaciones son aproximadas, para tener una idea precisa del comportamiento comparativo se requiere un análisis de costos de ambas opciones para diferentes rangos de caudales.

Fig. 16. Tubería de aducción antes de enterrar, Proy. Siguani Prov. Sud Yungas, La Paz. D = 400 mm., Q = 225 l/s., S = 0.5%. L = 900 m

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 17. Tubería de aducción antes de enterrar. Proy. Poroma, Prov.Larecaja, La Paz D1=12",D2=8", Q=160 l/s.L = 360 m.

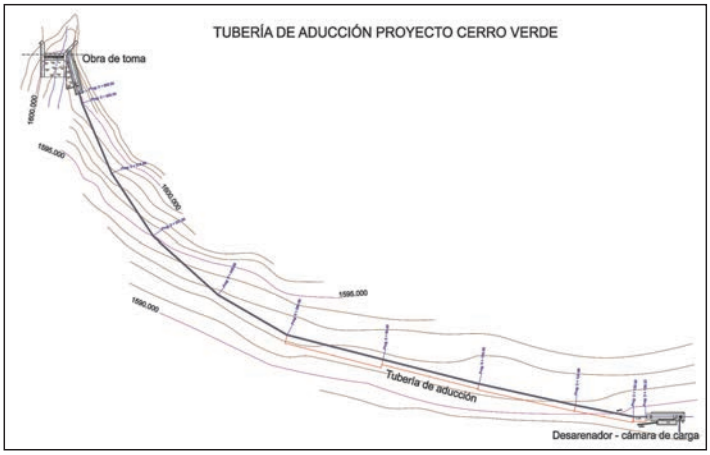
Fuente:Prog. Hidroener., ihh UMSA

Las tuberías de aducción se diseñan a tirante parcial en forma similar a las de alcantarillado. Considerando un tirante máximo de 90%, el diámetro de la tubería se puede calcular con la siguiente relación:

$$D = \left[Q \left(\frac{n}{0.33523\sqrt{S}} \right) \right]^{0.375}$$

Donde: Q = Caudal, D = Diámetro interior, S = Pendiente y n = Rugosidad de Manning que de acuerdo con The Unibell PVC Pipe Association, para PVC se puede tomar igual a 0.009.

Fig.18. Tubería de aducción. Proy. Cerro Verde. Prov. Inquisivi. La Paz



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Las tuberías para alcantarillado producidas a partir de un perfil de PVC estructurado, enrollado helicoidalmente tipo Max Flow, fabricadas localmente por Tigre Plasmar, son las más económicas para uso como tuberías de aducción. Se pueden encontrar hasta de diámetro 1000 mm. Un problema radica en que para estas tuberías no se fabrican codos que permitan cambios de dirección de ángulos relativamente agudos.

Fig. 19. Cámara tubería de aducción. Proy. Quinuni Prov. Sud Yungas, La Paz.

Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 20. Cámara tubería de aducción Proy. Nogalani Prov. Sud Yungas, La Paz.

Prog. Hidroener., ihh UMSA

Por esta razón en los cambios de dirección se incorporaron cámaras de hormigón que simultáneamente sirven como cámaras de inspección y de limpieza de posibles taponamientos.

Cuando la central requiere una aducción extensa, (ríos de baja pendiente) es necesario optimizar el diseño del canal o tubería debido a que este componente puede significar buena parte del presupuesto del proyecto.

3.1.3. Desarenador - cámara de carga

El desarenador es una cámara que sirve para decantar y remover los sedimentos que ingresan por la bocatoma y los que caen al canal de las laderas del cerro cuando la aducción es un canal abierto. En el caso de que no exista un desarenador, los sedimentos son arrastrados por el flujo y pueden ingresar hasta la turbina hidráulica, ocasionando desgastes por abrasión en el rotor de esta y en otros elementos como tuberías, válvulas, inyectores, etc.

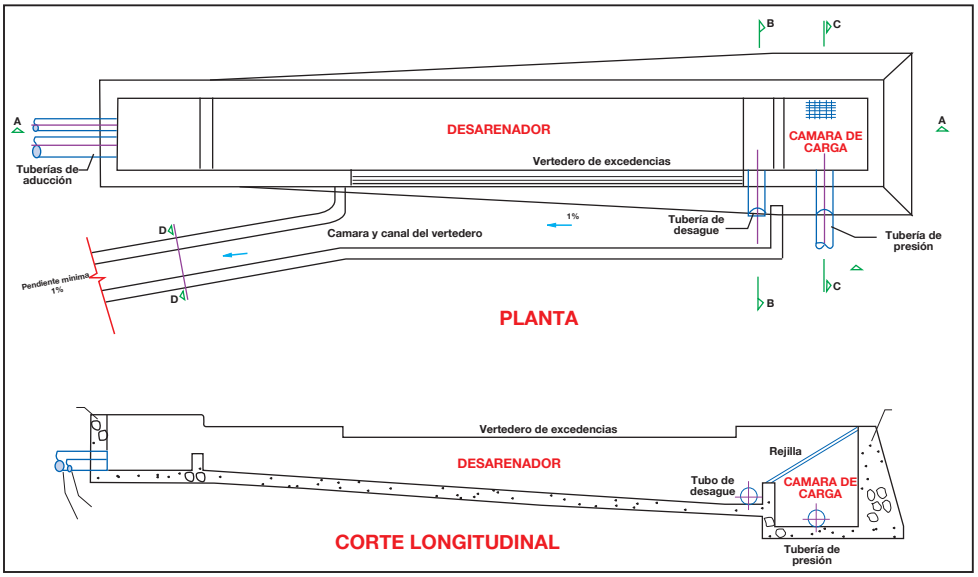
La cámara de carga tiene por objeto mantener una altura de carga constante sobre la turbina hidráulica y evitar la entrada de aire a la tubería de presión que parte de esta. Para este fin se trata de contar con una altura o tirante constante de agua sobre la parte superior del tubo de presión que tenga un valor mínimo determinado. Cuando el tirante determinado disminuye, se forma un vórtice, que arrastra aire hacia la tubería de presión, ocasionando la distorsión de la altura de carga necesaria sobre la turbina hidráulica y muchas veces la interrupción de la generación.

Normalmente en micro centrales, se construye el desarenador y la cámara de carga en una misma estructura al final de la tubería o canal de aducción. En el caso de que el río transporte gran cantidad de sedimentos, se puede incorporar un desarenador en la obra de toma en lugar del desgravador normal y otro al final de la aducción.

El Programa estandarizó un modelo de desarenador - cámara de carga para diferentes caudales. El diseño estándar para el caso de contar con tubería de aducción se muestra en la fig. 21 tanto en planta como en corte longitudinal.

Debido a que normalmente las microcentrales hidroeléctricas realizan la gobernación de la planta mediante un regulador de velocidad electrónico por control de carga y no por regulación de caudal como en las grandes centrales, la variación de caudal en la cámara de carga regularmente es mínima durante el funcionamiento normal rutinario de la planta. Esto permite que esta cámara sea de reducidas dimensiones, prácticamente de paso del flujo. Para el caso en que se deba cortar rápidamente el flujo hacia la turbina mediante la válvula en la casa de máquinas, debido a paradas de emergencia por cortes o fallas en el equipo de generación, es necesario dimensionar el vertedero de excedencias, su cámara de rebalse y respectivo canal, con la capacidad para conducir el caudal de diseño de la planta.

Fig.21. Desarenador - cámara de carga tipo.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

El canal debe conducir el flujo hasta la quebrada más cercana o hasta un lugar firme no erosionable para evitar peligro de socavación en la obra.

Fig.22. Desarenador - cámara de carga. Se observa el empalme de las tuberías de aducción. Proy. Palmeras Prov. Sud Yungas. La Paz.

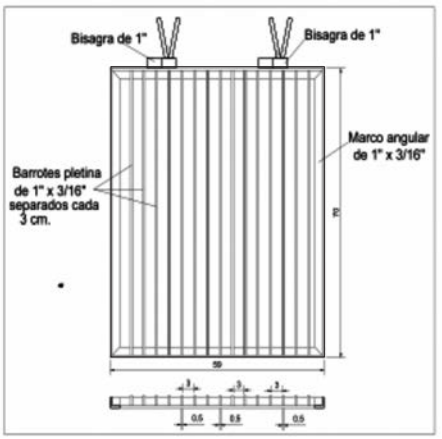
Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

La cámara de carga debe contar con una rejilla que evite la entrada de material flotante como ramas y botellas plásticas a la tubería de presión. Se ha diseñado una rejilla móvil con bisagras que se empotran en la parte superior del muro y que se apoya en el vertedero que divide la cámara de carga y el desarenador. Cuando la rejilla se tapa con material flotante, su limpieza se reduce a girarla sobre las bisagras eliminando la basura en la parte frontal de la cámara, esto simplifica la limpieza y evita la engorrosa tarea de limpiarla manualmente o con rastras como normalmente se realiza en las rejillas tradicionales no giratorias.

Fig. 23. Rejilla cámara de carga. Proy. Quinuni Prov Sud Yungas, La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 24. Plano rejilla cámara de carga. Proy. Antofagasta Prov. Caranavi La Paz.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

3.1.4. Tubería de presión

La tubería de presión tiene por objeto conducir el caudal de diseño a presión desde la cámara de carga hasta la turbina hidráulica en la casa de máquinas.

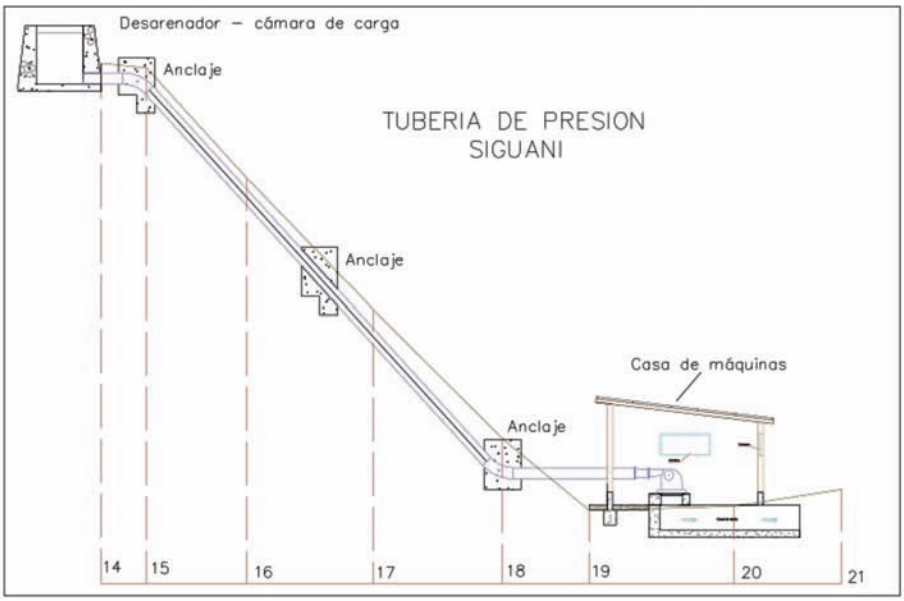
En las centrales hidroeléctricas, tradicionalmente se han instalado tuberías de presión metálicas: de fierro fundido o de plancha de acero cilindrada, instaladas sobre estructuras de apoyo de hormigón, con el fin de facilitar las labores de mantenimiento y de aislarlas de la humedad natural del suelo.

En los últimos tiempos, en las pequeñas centrales hidroeléctricas, para presiones no muy altas, se instalan tuberías plásticas, (polietileno rígido, polietileno flexible, policloruro de vinilo PVC). Este tipo de tuberías tienen la ventaja de contar con costos menores que las metálicas, facilidad de instalación debido fundamentalmente a su bajo peso, disponibilidad en el mercado local y resistencia a la corrosión. Debido a que los rayos ultravioleta del sol afectan a este tipo de materiales y a su fragilidad con respecto a las tuberías metálicas, deben instalarse necesariamente enterradas, lo que anula la necesidad de los apoyos de hormigón.

Tanto para tuberías metálicas como para plásticas, es necesario vaciar bloques de anclaje de hormigón ubicados en los codos o curvas, para absorver los esfuerzos que se producen en esos puntos que podrían colapsar la tubería.

La tubería de aireación es una tubería de menor diámetro que la de presión, que se conecta a esta junto a la cámara de carga, aguas abajo de la válvula de cabecera, en forma vertical y abierta en su extremo a la atmósfera. Esta tubería solo se requiere cuando se instala una válvula de cabecera al inicio de la tubería de presión, o cuando existe la posibilidad, por algún medio, del cierre rápido de la entrada de agua a la tubería en la cámara de carga y del vaciado de esta sin contacto con la presión atmosférica, originando una sub presión que puede dañar el tubo.

Fig.25. Tubería de presión de PVC. Proy. Siguani, Prov. Sud Yungas. La Paz. D = 12", L = 20 m. Q = 225 l/s



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 26. Tubería de presión de PVC. antes de enterrar. Proy. Siguani.

Fuente: Prog. Hidroener. ihh UMSA.

Fig. 27. Tubería de presión de PVC antes enterrar. Proy. Quinuni. D = 10", Q = 250 l/s

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En el caso de centrales de alta presión (centrales frecuentes en la zona andina), generalmente se requieren tuberías de bastante longitud, por lo que la elección del diámetro de la tubería de presión debe realizarse cuidadosamente para no encarecer la obra. En estos casos, en función de las presiones existentes y fundamentalmente de la presión de trabajo admisible de las tuberías de PVC, se han combinado tuberías plásticas con tuberías metálicas, lo que ha permitido reducir los costos y los tiempos de instalación, debido a que las tuberías plásticas son más baratas que las metálicas y su instalación se facilita debido a su menor peso.

Fig. 28. Tubería de presión Proy. Yanamayu Prov. Sud Yungas La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En la figura 28 se observa la tubería de presión múltiple del proyecto MCH Yanamyu. Se trata de dos tuberías de 6" y una de 12" de PVC, que transportan un caudal de 423 l/s. a una turbina tipo Michell Banki que trabaja con un salto neto de 13.7 m generando una potencia de 30 kW, para abastecer una población de 120 familias.

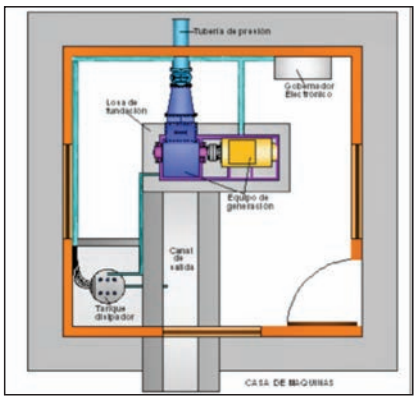
3.1.5. Casa de máquinas

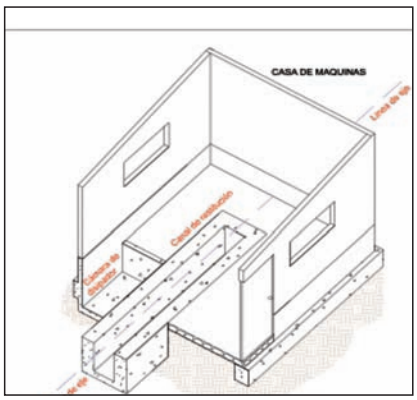
La casa de máquinas es la estructura necesaria para albergar al equipo de generación. Se debe diseñar el área interior de dimensiones mínimas para que una vez instalado el equipo de generación, los tableros de control y en su caso el transformador, exista espacio suficiente para el desmontaje de equipos y la libre circulación del personal de operación y mantenimiento.

La casa debe contar con un canal de salida o restitución que permita devolver las aguas que pasan por la turbina, al curso original. Al interior de la casa de máquinas, el canal de restitución se cubre con losas de hormigón o vigas de madera, dejando libre a la vista, el tubo de rebalse del tanque disipador de energía que debe verter un chorro de agua permanente que normalmente descarga en el canal de restitución, de forma de garantizar la circulación permanente de agua por el tanque y la sumergencia necesaria de las resistencias eléctricas.

En los proyectos ejecutados por el Programa, se han construido casas de máquinas utilizando materiales tradicionales del lugar (adobe, ladrillo, madera, piedra, etc.) pero cuidando que los sobrecimientos, el piso y el canal de restitución sean vaciados en hormigón con el fin de evitar humedecimientos, realizar las labores de montaje, desmontaje y mantenimiento de los equipos sin contaminar con polvo y para facilitar la limpieza.

Fig.29. Modelo tipo de casa de máquinas para potencia hasta 50 kW.





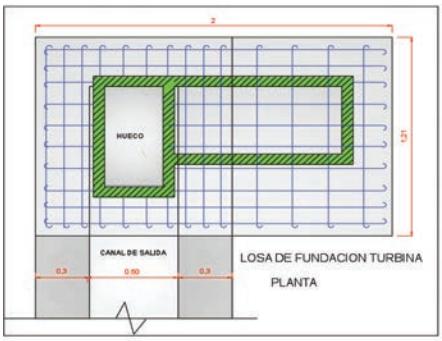
Programa Hidroenergético, ihh UMSA

Debido a que el generador emite calor cuando opera, en lugares cálidos, la casa de máquinas se debe diseñar con suficientes ventanas de ventilación para evitar temperaturas altas en su interior. En los lugares donde existen altas temperaturas y normalmente muchos insectos, se suele evitar colocar vidrios en las ventanas, en ese caso, estas deben ser cubiertas con malla milimétrica y todas las rendijas que suelen quedar entre la cubierta y las paredes se deben sellar para evitar la entrada de insectos que ingresan a la casa atraídos por la luz principalmente por las noches y se introducen en los tableros y el generador.

Fig.30. Casas de máquinas de los proyectos MCH Charía, Prov. Sud Yungas, MCH Agua Blanca, Prov. Franz Tamayo y MCH Quinuni Prov. Sud Yungas en el Departamento de La Paz, construidas de adobe revocado, piedra vista y ladrillo visto respectivamente.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig. 31. Plano de losa de fundación. Proy. Nogalani Prov. Sud Yungas La Paz.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Sobre el canal de salida, en el interior de la casa de máquinas, se vacía la losa de fundación de la turbina hidráulica y del generador eléctrico. El gobernador electrónico de carga y los tableros de control se instalan en las paredes y se dispone una cámara por debajo del nivel del piso donde se instala el tanque disipador con resistencias eléctricas, del gobernador electrónico. Este tanque se alimenta de agua captada de la turbina hidráulica.

Fig. 32. Losa de fundación del equipo. Proy.Palmeras.Prov. Sud Yungas. La Paz

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 33. Tanque de disipación en cámara. Proy. Siguani. Prov.Sud Yungas. La Paz

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

A partir de la experiencia, se ha establecido que para potencias menores a 50 kW, un área útil de la casa de máquinas de 16 m2, es suficiente para contener todos los equipos, considerando los espacios necesarios para el desmontaje de estos y para la libre circulación del personal de operación y mantenimiento, sin considerar la residencia del empleado.

3.2 Equipo de generación

Uno de los objetivos básicos del Programa Hidroenergético fue la creación o adaptación de tecnología que permita fabricar equipos de generación hidroeléctrica a nivel local. En este sentido, se desarrolló tecnología para la fabricación de turbinas hidráulicas tipo Pelton y Michell Banki y gobernadores o reguladores de velocidad electrónicos.

El equipo de generación para una microcentral hidroeléctrica, normalmente está compuesto de las siguientes partes: turbina hidráulica, generador eléctrico, gobernador o regulador de velocidad del conjunto turbina - generador y tableros eléctricos de control.

Turbinas hidráulicas

En general, una máquina es un dispositivo transformador de energía que absorbe energía de una clase y restituye energía de otra clase. Existen diferentes tipos de máquinas, las maquinas hidráulicas se llaman máquinas de fluidos existiendo un intercambio entre la energía de fluido (agua) y energía mecánica.

Existen básicamente dos tipos de máquinas hidráulicas: las turbinas hidráulicas donde la energía de una masa de agua que cae desde una cierta altura se convierte en energía mecánica de rotación en su eje y las bombas donde el fluido es receptor de energía al que la maquina restituye la energía mecánica absorbida provista por un motor.

Existen diferentes tipos de turbinas hidráulicas cuyos rangos de aplicación están determinados por la relación altura de caída - caudal. En forma general, las turbinas más conocidas de uso común, se aplican para los siguientes rangos:

Turbinas Pelton	*Alta caída y reducido caudal*
Turbinas Francis y Banki	*Mediana caída y mediano caudal*
Turbinas Kaplan y Helice	*Baja caída y elevado caudal*

Los componentes fundamentales de las turbinas hidráulicas son: el **distribuidor o inyector** que es un órgano fijo cuya misión es dirigir el agua adecuadamente desde la entrada a la turbina hasta la parte móvil rotatoria de esta llamada rotor o rodete, distribuyéndola alrededor del mismo en forma total en las turbinas de admisión total o en forma parcial en las turbinas de admisión parcial. El distribuidor cuenta con mecanismos que permiten regular la entrada de agua a la turbina desde caudal total hasta caudal nulo. (Alabes directrices en la turbinas Francis, Kaplan y Hèlice, aguja de regulación de caudal en las turbinas Pelton y válvula tipo mariposa o pala directriz móvil en las turbinas tipo Banki)

El **rodete,** elemento móvil giratorio, constituye la parte fundamental de las turbinas y es donde se produce la transferencia energética entre el agua y la máquina. Está provisto de una serie de alabes, cucharas o cazoletas.

De acuerdo al grado de reacción las turbinas se clasifican en:

a) Turbinas de acción o impulsión

En estas turbinas, el agua sale del inyector a la presión atmosférica e incide en el rodete con la misma presión. La fuerza de empuje en el rodete se origina en la acción del agua sobre este, convirtiéndose la energía potencial del agua en energía cinética. Una turbina típica de acción es la turbina Pelton cuyo rodete básicamente es un disco circular con una serie de cucharas en su periferie.

b) Turbinas de reacción

El agua que ingresa al rotor desde el inyector cuenta con presión mayor a la atmosférica, circulando a través de los alabes a presión. La energía potencial del salto se convierte en el rotor en energía cinética y en energía de presión y la fuerza de empuje sobre este es una reacción a la acción del agua. En las turbinas de reacción el rotor trabaja totalmente inundado. Estas turbinas tienen a la salida de la carcasa una tubería llamada tubería de aspiración. Turbinas de reacción son las Francis, Hélice y Kaplan

Generadores eléctricos

Un generador eléctrico es una máquina rotativa que convierte la energía mecánica suministrada por la turbina hidráulica en energía eléctrica.

En pequeñas centrales hidroeléctricas aisladas, que suministran energía a un grupo de consumidores, normalmente se utilizan generadores síncronos auto excitados.

Estos aparatos pueden fabricarse con escobillas o sin escobillas. Los generadores con escobillas cuentan con un regulador de tensión automático “compuesto” que es un sistema electromagnético sin realimentación de señal conformado por: una reactancia lineal, un transformador de corriente y un puente rectificador. Los generadores sin escobillas cuentan con regulador automático de tensión (AVR) electrónico que es un dispositivo fabricado con elementos de estado sólido montados sobre una tarjeta impresa.

En los proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético, se han utilizado generadores importados de diferente procedencia (Brasil, China, México, EEUU). Se prefieren los generadores con escobillas, dado que el AVR de los sin escobillas es sensible a las descargas atmosféricas que los dañan sin posibilidad de reparación localmente, obligando al remplazo del elemento. El AVR generalmente tiene un costo elevado con relación al costo del generador y su importación demanda normalmente varios meses en los cuales se interrumpe el servicio.

Gobernador o regulador de velocidad.
En una central aislada, el conjunto turbina - generador debe funcionar a velocidad constante, a la velocidad de trabajo del generador, para que la frecuencia y voltaje de la energía generada sean también constantes dentro de ciertos límites admisibles. Para lograr este fin, se incorpora un gobernador o regulador de velocidad.

Los gobernadores convencionales de las plantas hidroeléctricas han sido tradicionalmente mecanismos que miden las variaciones de velocidad del conjunto y ante variaciones con respecto a la velocidad fijada, accionan un servomotor que modifica la entrada de caudal al rotor de la turbina. De esta forma se iguala el torque en el eje producido por la demanda, con el producido por el caudal y el salto manteniendo la velocidad constante.

En micro centrales hidroeléctricas resulta más económica la regulación de velocidad por control de carga. Para esto se emplea un regulador electrónico de carga, que ante una potencia constante producida por el generador, mediante unas válvulas electrónicas conocidas como tiristores, deriva la energía no consumida por la demanda a un circuito parásito donde se disipa esta energía.

El Programa ha desarrollado un regulador de velocidad electrónico de carga que cuenta con un disipador de energía consistente en un tanque con resistencias eléctricas sumergidas en agua comúnmente usadas en los calefones eléctricos domésticos. Para potencias menores, en el tablero donde se instala la tarjeta del regulador electrónico, se instalan los instrumentos de medición, protección y control que normalmente se requieren.

3.2.1. Turbina Pelton
Como se indicó anteriormente, uno de los objetivos específicos del Programa fue el desarrollo de turbinas hidráulicas tipo Pelton.

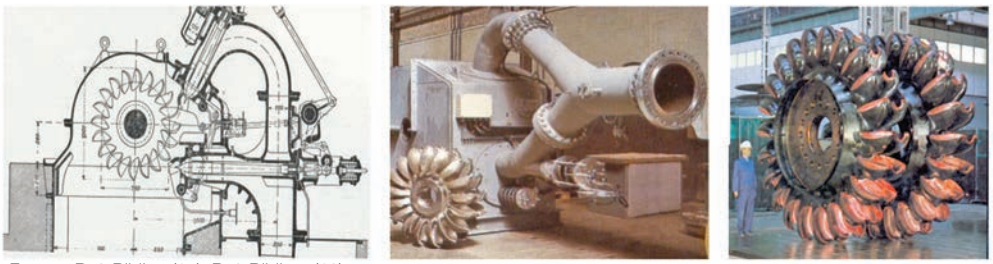
Esta turbina fue inventada por el ingeniero estadounidense Lester Allen Pelton a mediados del siglo XIX, principalmente dirigida a la molienda de minerales durante la fiebre del oro en California.

Constituye una turbina de acción cuyo rodete es un disco en cuya periferie se encuentran una serie de cucharas o cazoletas. El flujo al salir del inyector o tobera transforma la energía de presión del agua en energía cinética y al chocar contra las cucharas cambia su dirección en aproximadamente 180º transfiriendo fuerza de empuje al rotor. Puede contar con una o varias toberas o inyectores, hasta cinco en rotores de eje vertical. La regulación de caudal se realiza mediante válvulas de aguja, una en cada tobera o inyector. Para evitar el embalamiento de la turbina, se cuenta con deflectores del chorro que rápidamente lo desvían evitando que incida sobre las cucharas, de esta forma se evita el cierre brusco de las válvulas de aguja que podría ocasionar sobrepresiones por golpe de ariete.

Debido a que el flujo abandona el rotor a baja velocidad, la carcasa que cubre al rodete no estará sometida a presión por lo que no precisa ser de construcción muy robusta.

Este tipo de turbinas normalmente se emplea en saltos entre 40 y 1200 m y los modelos industriales grandes cuenta con rendimientos máximos por encima del 90%

Fig.34. Turbina hidráulica tipo Pelton de dos inyectores. A la derecha se observan rotores tipo Pelton con cucharas o cazoletas en la periferie.



Fuente: Ref. Bibliog (17), Ref. Bibliog. (19)

La zona Andina de Bolivia concentra un buen potencial hidroenergético, cuyas características principales son la existencia predominante de altas caídas y reducidos caudales en sus ríos. Para aprovechar este potencial era necesario el desarrollo local de una turbina que se adecue a estas características, es decir la turbina tipo Pelton.

Los rotores de las primeras turbinas Pelton desarrolladas por el Programa se fundieron en el ihh de aluminio, bronce y poliuretano rígido, destinados a generar pequeñas potencias.

Fig.35. Rotores de turbinas Pelton de bronce, poliuretano rígido y aluminio fabricados en el ihh.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

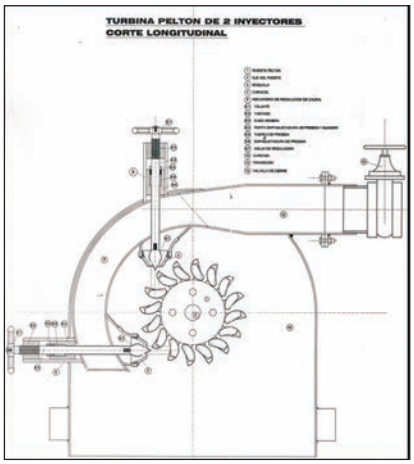
Se diseñó un inyector tipo caracol que envolvía al rotor y que permitía contar con hasta cuatro toberas como se muestra en la fig. 37. Los inyectores no contaban con agujas de regulación de caudal sino con toberas roscadas intercambiables de diferente diámetro de apertura. Se usaba un juego de toberas de cierto diámetro para funcionamiento normal y otro de menor diámetro para época seca cuando disminuía el agua del río.

Fig. 36. Pelton de toberas intercambiables

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

El intercambio de toberas requería el desmontaje del rotor para tener acceso al inyector, esta operación se realizaba comúnmente una vez al año. Posteriormente se incorporaron al anterior inyector agujas de regulación de caudal de accionamiento manual en máximo dos toberas. Esto permitía regular, en cierta medida, la entrada del flujo en época seca sin necesidad de desarmar la turbina (fig. 37).

Fig. 37. Turbina Pelton de dos inyectores con agujas de regulación manual.



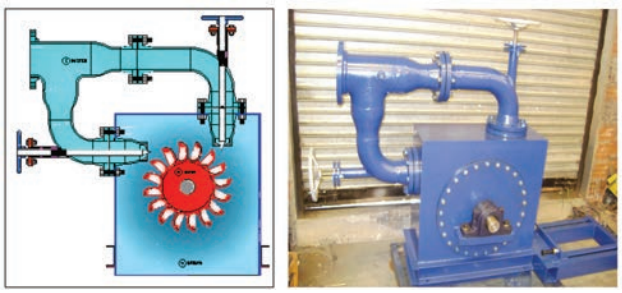
Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 38. Pelton de 2 inyectores. Proyecto Chucura Prov. Murillo, La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fruto de la experiencia anterior, se desarrollaron turbinas Pelton de diámetros efectivos de 12, 20, 26 y 33 cm. con rotores de acero, fierro fundido y bronce para caídas entre 20 y 200 m., cubriendo un rango de potencias desde la pico hidrogeneración hasta potencias de 250 kW., con regulación de caudal mediante agujas de regulación de accionamiento manual, lo que permite contar con buen rendimiento para caudales parciales hasta del 30% del caudal de diseño, que se presentan principalmente en época seca. Considerando que son turbinas pequeñas, estas máquinas cuentan con rendimientos aceptables, cercanos al 80%.

Fig.39. Turbina Pelton de 33 cm de diámetro efectivo con rotor de acero de dos inyectores con agujas de regulación de caudal de accionamiento manual.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

3.2.2. Turbinas Michell Banki

La turbina Banki fue inventada en 1903 por el ingeniero australiano Mitchell dándole el nombre de “turbina de flujo radial”. Entre 1917 y 1918, el profesor húngaro Donato Banki desarrolla la máquina y la da a conocer en una serie de artículos publicados.

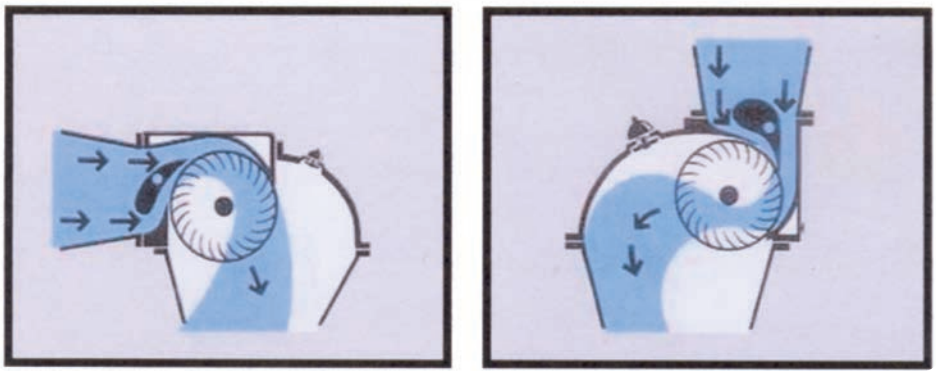
En 1922, el ingeniero mecánico alemán Ossberger obtiene una licencia y comercializa la turbina creando la “Ossberger Turbinenfabrik” (24), empresa que hasta la actualidad fabrica este tipo de turbinas industrialmente, con un largo proceso de investigación e innovación constituyéndose en el fabricante más reconocido y de mayor experiencia a nivel mundial.

La turbina Banki se conoce con una serie de denominaciones:

- Turbina Ossberger
- Turbina Mitchell - Banki
- Turbina de flujo cruzado
- Turbina de doble impulsión
- Turbina de flujo radial

En general, la turbina Banki es una turbina básicamente de acción, de flujo transversal, de admisión parcial y de doble efecto. Sus elementos constitutivos fundamentales son el inyector que guía el flujo hacia el rodete regulándolo mediante una pala directriz o válvula de mariposa y el rodete o rotor que consiste básicamente en un tambor de discos paralelos con una serie de álabes curvos en su periferie.

Fig.40. Turbinas tipo Michell Banki con entrada de agua horizontal y vertical. Se observa los componentes principales: rotor, inyector y carcasa. Al interior del inyector se observa la válvula de regulación de caudal tipo mariposa.



Fuente: Ref. Bibliog. (24)

Esta máquina es una turbina intermedia entre las Pelton de alta caída y bajo caudal y las Kaplan o Hélice de baja caída y gran caudal, cuyo rango de aplicación es similar a la turbina Francis. La ventaja de la Banki con relación a la Francis es que se puede fabricar localmente sin necesidad de tecnología de fundición, contando con un taller de metal mecánica regular con máquinas herramientas comunes. Por esta razón, el

Programa se planteó como objetivo el desarrollo de este tipo de turbinas aplicables ampliamente en la zona Andina y sub Andina del país.

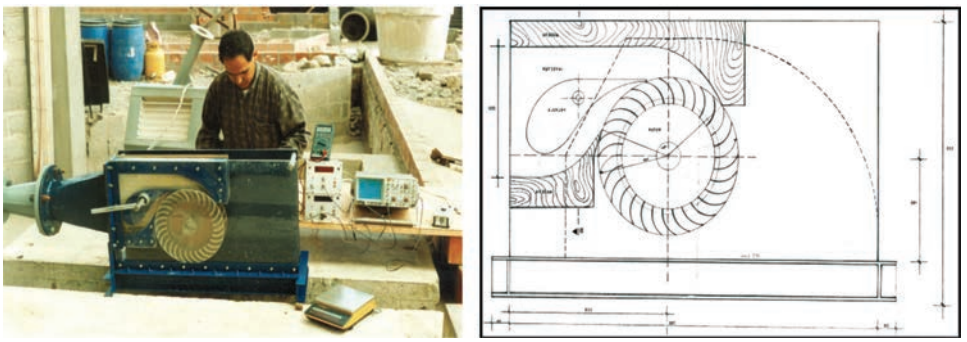
La primera turbina tipo Banki se fabricó en el ihh en el año 1988, destinada al proyecto "Microcentral hidroeléctrica Condo", proyecto ubicado en el Departamento de Oruro y el primero que se ejecutó. Esta turbina, la Banki T3, fue diseñada por SKAT (Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management) (19) y los planos constructivos fueron transferidos al ihh.

La turbina contaba un rotor de 20 cm de diámetro y 32 alabes de acero de 2.5 mm de espesor. Se evidenciaron varios problemas: baja eficiencia, cercana al 50%, reducida duración del rotor debido al escaso espesor de los álabes principalmente funcionando con aguas que contenían arenas en suspensión y aguas agresivas (aguas ácidas), carcasa muy estrecha. Debido a estos problemas, se decidió diseñar un modelo propio, en principio modificando el diseño de SKAT.

El nuevo modelo fue una turbina Banki similar a la anterior pero con alabes más gruesos de 5 mm de espesor y con algunas modificaciones en la carcasa. La pruebas de este modelo no evidenciaron mejoras principialmente de eficiencia con respecto al anterior. Un tercer modelo testeado contaba con un rotor de 30 cm de diámetro y 28 alabes de 5 mm de espesor, con caracas modificada. Se obtuvo una eficiencia máxima cercana al 60% para el caudal de diseño, pero que disminuía considerablemente para caudales parciales regulados con la pala o válvula de cierre de diseño tradicional tipo Ossberger.

En base a esta última experiencia, se fabricó un modelo de laboratorio con partes de acrílico transparente (fig. 41) con el objeto de observar el flujo a través de la turbina. Para caudales parciales regulados con la válvula de cierre tipo mariposa, se observó que se producían turbulencias en posiciones de cierre parcial de la válvula, por efecto de desprendimiento del flujo de la pared de esta, lo que ocasionaba caída de la eficiencia. Retirando la válvula de la turbina, se observó que cuando se confinaba el flujo hacia la parte superior del arco de admisión del rotor, la eficiencia de la máquina tendía a aumentar

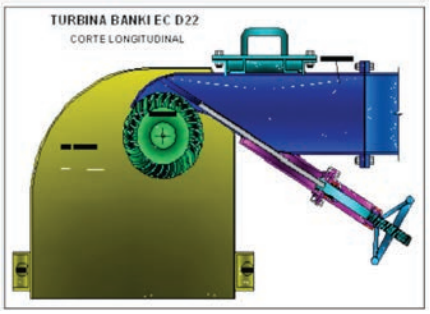
Fig.41. Modelo de turbina Banki testeada en el banco de pruebas del ihh.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

A partir de estas mediciones y observaciones, se diseñó un modelo que no incluye la paleta o válvula de cierre tipo mariposa tradicional, que fue reemplazada por una compuerta plana de diseño propio, que se desliza en la pared inferior del inyector, regulando el caudal por estrangulamiento del arco de admisión.

Fig.42. Banki con compuerta plana de regulación.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

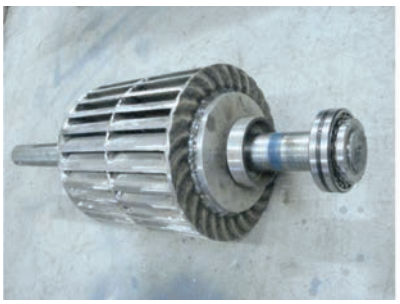
Este modelo de turbina se ha estandarizado con rotores de diámetros 20, 22, 25 y 30 cm. contando con 28 álabes en su periferie.

Se ha incorporado una tapa de acceso ubicada en la pared superior del inyector que permite acceso al rotor para la limpieza de objetos flotantes como troncos y ramas que muchas veces ingresan por el inyector y se acumulan junto al rotor.

Los álabes del rotor se fabrican de secciones de tubos de acero inoxidable de diferentes diámetros internos, de acuerdo al diámetro externo del rotor elegido. Estos álabes son muy resistentes a la abrasión.

La turbina puede cubrir un rango de caudales entre 50 y 500 l/s, con saltos netos entre 10 y 100 m. La eficiencia máxima se encuentra alrededor del 75%.

Fig. 43. Rotor turbina Banki

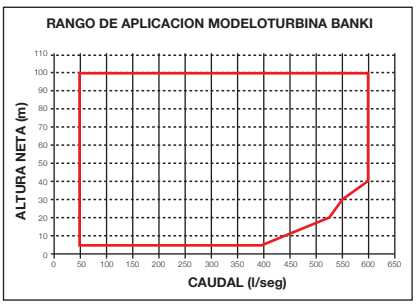


Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 44. Turbina Banki con compuerta plana de regulación.

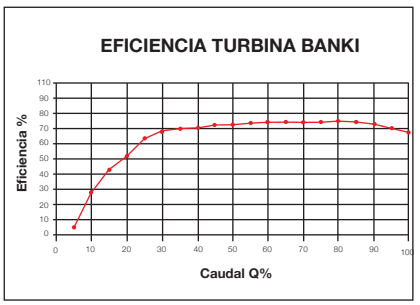
Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 45. Rango de aplicación turbina Banki



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig. 46. Curva caudal - eficiencia turbina Banki



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

3.2.3 Reguladores de velocidad (16)

A mediados de los años 80, en el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés ihh UMSA se ejecutaron las primeras experiencia en generación hidroeléctrica, con pequeñas turbinas Pelton y Michell - Banki, destinadas a adquirir tecnología en construcción de estos equipos para su posterior aplicación en proyectos de electrificación rural. En ese entonces el país solo contaba con una cobertura de electrificación, de aproximadamente el 20 % de la población rural. Surgió entonces la necesidad de desarrollar un equipo de regulación de velocidad del grupo turbina - generador, adecuado a las potencias y especificaciones requeridas por los proyectos de electrificación a desarrollarse en comunidades rurales.
La primera turbina construida en el ihh, destinada a electrificación de una comunidad rural, (Proyecto Condo) fue equipada con un regulador de velocidad, mediante control de carga electrónico importado del Canadá, (Thomson and Hove, Canadá).

Planteamiento del problema

Una central hidroeléctrica en operación aislada, requiere un equipo de regulación de velocidad para mantener constante la frecuencia y por tanto el voltaje de la energía producida, debido a que el grupo turbina - generador se encuentra entre la potencia hidráulica de entrada y la potencia eléctrica de salida, entonces cualquier cambio a la salida, o sea en la carga eléctrica, ocasiona también cambio en la velocidad del grupo y por tanto en la frecuencia y el voltaje. Es decir si la carga baja, la turbina se acelera y si la carga sube se frena.

Existen varias formas de mantener constante la velocidad:

- Control, actuando sobre el mecanismo de regulación de caudal de la turbina en forma manual, exige presencia permanente del operador
- Gobernador, mecanismo automático, normalmente electro hidráulico que actúa igualmente regulando el caudal pero en forma automática
- Control de carga, equipo electrónico que regula la velocidad controlando la carga, es decir, adecuando la carga a la potencia hidráulica presente en todo instante. El grupo turbina - generador debe ver carga constante para mantener constante su velocidad, aun cuando los usuarios de la energía cambien su demanda, esto es posible desviando la potencia no usada a un disipador en forma instantánea y cuando la demanda crece, desviando del disipador a los usuarios

En el caso de microcentrales hidroeléctricas, las dos primeras opciones resultan bastante caras y de difícil operación y mantenimiento. Los controladores de carga son equipos de bajo costo, poco mantenimiento y operación automática, constituyéndose en la mejor opción, viabilizando la instalación de microcentrales hidroeléctricas de operación confiable y estable en frecuencia

Objetivo

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto y en el marco del Programa

Hidroenergético, se planteó el siguiente proyecto de investigación: “Desarrollo de un regulador de velocidad por control de carga electrónico para el grupo turbina generador” (16), cuyo objetivo final era elevar el nivel de vida de las comunidades rurales , mediante el aprovechamiento de la energía hidráulica para la generación hidroeléctrica local. Específicamente se planteó investigar y desarrollar tecnología hasta la construcción de un prototipo de controlador de carga electrónico para la regulación de velocidad de equipos de generación hidroeléctrica, cumpliendo las exigencias de confiabilidad, bajo precio y mantenimiento, sobre todo adecuado para operación de microcentrales por personal escasamente capacitado, personal local de las comunidades rurales beneficiarias.

Justificación

El emprendimiento se justificaba por los siguientes aspectos:

- Altos costos de equipos importados
- Equipos importados sin posibilidades de mantenimiento local, debido a imposibilidad de acceso por encontrarse sellados.
- Equipos importados poco adecuados para operadores locales de microcentrales debido a la escasa formación técnica de estos.
- Posibilidad de su fabricación local con componentes disponibles en el mercado nacional.
- El desarrollo de software propio, permite infinidad de opciones a ser adecuadas a las necesidades de las microcentrales asiladas en ubicaciones remotas, como por ejemplo incorporar alarmas y señalizaciones acordes a las necesidades de los operadores y a su nivel de formación técnica.
- La adquisición de tecnología propia permite un verdadero desarrollo en el aprovechamiento de la energía hidráulica, limitando las dependencias.

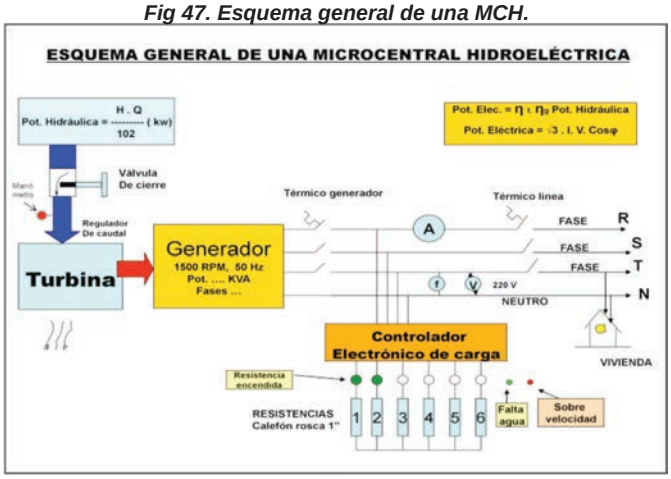
Metodología

Para el desarrollo del controlador de carga electrónico se empleó la siguiente metodología:

- Diseño
- Construcción del prototipo
- Pruebas en el banco de pruebas del ihh, equipado con turbina hidráulica accionada por bomba centrifuga, generador síncrono, cargas eléctricas y todo el equipamiento en instrumentos de mediciones
- Una vez obtenidos desenvolvimientos aceptables en laboratorio, el prototipo fue instalado en proyectos reales en campo, evaluándoselo permanentemente e incorporando constantes mejoras en un proceso de realimentación e incorporación de nuevos diseños.

Este proceso ha continuado durante los últimos 15 años hasta contar con un equipo estable y confiable.

Fig 47. Esquema general de una MCH.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

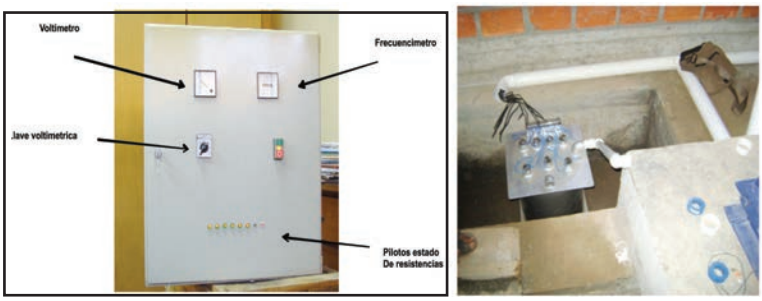
Resultados

Al presente se tiene un equipo totalmente operable y confiable, operando en por lo menos en 35 microcentrales hidroeléctricas en varios departamentos del país. Es un controlador diseñado para su aplicación con generadores monofásicos o trifásicos en conexión estrella, con disipadores blindados y sumergibles a 220 V. tipo resistencias de calefón y potencia de control hasta 120 kw. El microcomputador integrado en un solo chip contiene el software de desarrollo propio, que ha demostrado su confiabilidad en las más variadas situaciones de operación del equipo electromecánico. Operación con mínima deformación de onda, que determina poca generación de radiofrecuencia, por el uso de conmutadores de estado sólido con disparo de cruce por cero TRIACs o relés de estado sólido

El controlador, básicamente consta de:

- Fuente de alimentación derivada de la misma red de energía generada
- Tarjeta electrónica de procesamiento de la información y toma de decisiones
- Módulo de salida y de potencia totalmente en estado sólido, es decir sin partes electromecánicas en movimiento como relés o contactores que cuentan con vida limitada
- Protección por disyuntores termomagnéticos

Fig.48. Controlador electrónico de carga, vista frontal y tanque de disipación con resistencias blindadas tipo calefon. La Paz.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

- Panel equipado con indicadores luminosos del estado de carga en el disipador. De gran utilidad para el operador de la planta, contando en todo instante con el estado de la potencia disponible para la red, estado de las resistencias de disipación, déficit de energía hidráulica o sobre velocidad
- Caja metálica pintada con puerta y seguro.

El controlador electrónico de carga CEC6T3-xxx reúne las siguientes especificaciones:

• Voltaje de operación	220/380 v
• Frecuencia fijada por cristal	50 Hz
• Respuesta desde vacío a plena carga max.	0.5 seg
• Conmutadores de estado sólido Triacs ó Relés de estado sólido, hasta	10
• Conmutadores controlados SCRs	2
• Desviación máxima de frecuencia sobre	50 Hz 0.2 Hz
• Número de resistencias, 4 por fase	1,2,3 ó 4
• Potencial máxima de control hasta	120 kw
• Indicadores luminosos sobre falla de las resistencias, identificando la resistencia fuera de uso	6
• Indicación luminosa de déficit de potencia hidráulica	1
• Indicación luminosa de sobre velocidad	1
• Alarma sonora de sub o sobre velocidad	1
• Tanque de disipación en plancha de acero inoxidable con conexiones de entrada y salida permanentes y limpieza	1
• Caja metálica 70 x 60 x 20 cm	1
• Conexiones y borneras señalizadas	

Conclusiones

Al presente se han equipado más de 35 microcentrales hidroeléctricas construidas en los últimos 20 años, por el Programa Hidroenergetico, con controladores de carga de diseño y fabricación local, en varios departamentos del país. Con respecto al equipo se puede concluir:

Fig.49. Controlador electrónico de carga, vista interior y equipo completo de generación hidroeléctrica, proyecto Villamar, Sud Lipez, Potosí.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

- El equipo es muy confiable y adecuado a las necesidades de las plantas aisladas de la red y ha hecho posible la operación de microcentrales por operadores con mínima capacitación técnica
- Los precios a nivel de usuario final se encuentran aproximadamente a 25% de un equipo equivalente importado.
- El ihh UMSA es líder en la tecnología de generación micro hidroeléctrica a nivel nacional y reconocido a nivel regional, gracias a sus equipos que son fabricados con tecnología desarrollada en proyectos de investigación e implementados en proyectos rurales.
- Todas las partes y componentes se encuentran en el mercado local, lo que garantiza asistencia técnica oportuna.

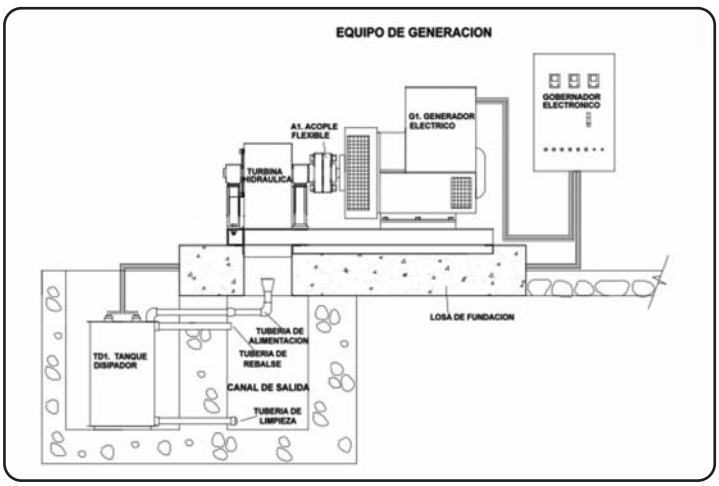
3.2.4 Equipos completos de generación

Contando con turbinas hidráulicas tipo Pelton y Michell Banki, gobernadores o reguladores de velocidad desarrollados en el ihh y generadores importados, se armaron equipos de generación completos. Estos equipos se instalaron en 35 microcentrales hidroeléctricas construidas por el Programa Hidroenergético en cerca de 20 años de trabajo.

El esquema general del equipo de generación se observa en la fig.50. La turbina y el generador sobre la losa de fundación, con la descarga de la turbina al canal de restitución. En la pared el regulador o gobernador de velocidad y a la vez tablero de control y en una cámara aledaña al canal de salida el tanque disipador de energía alimentado con agua por el desfogue de la turbina hidráulica.

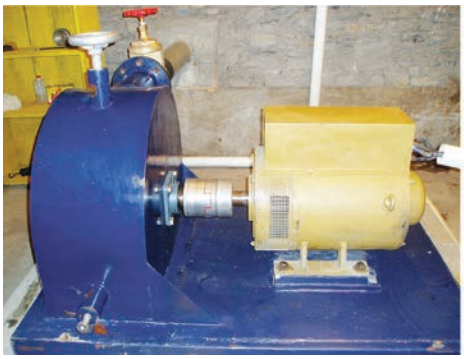
Cuando la velocidad de la turbina alcanza a la velocidad de trabajo del generador ambos se acoplan directamente eje a eje mediante un acople flexible. Originalmente, se diseñó un acople flexible tipo cruceta (fig. 51) que se fabricaba inicialmente de duraluminio y posteriormente de fierro fundido.

Fig. 50. Esquema general del equipo de generación.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Fig.51. Equipo de generación con acople flexible tipo cruceta. Proy. Agua Blanca. Prov.F. Tamayo. La Paz.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig. 52. Equipo de generación con acople flexible de manguitos. Proy.Villamar. Prov.Sud Lipez. Potosí.

Fuente: Prog. Hidroener. Ihh UMSA.

Debido algunos problemas de desgaste de este tipo de acople, se diseñó uno nuevo de manguitos con bujes de goma, esta pieza trabaja satisfactoriamente con mínimo desgaste de los bujes (figs. 52 y 53).

Para saltos netos bajos, la velocidad de los rotores de las turbinas es relativamente reducida y la velocidad de trabajo de los generadores comerciales es mayor. En este caso se amplifica la velocidad mediante poleas y correas (fig. 54), este método de transmisión de potencia es adecuado para potencias reducidas y para nuestro medio, debido a que las correas industriales son de uso común y se las encuentra fácilmente en el mercado local. No se han empleado cajas reductoras de engranajes debido a la inexistencia de estos aparatos en el mercado local, su alto costo en caso de importarlos y el costo de mantenimiento que significarían debido a la necesidad del cambio de rodamientos que regularmente requieren. Por parecidas razones también se han desechado las transmisiones por cadenas de rodillos.

Fig. 53. Acople flexible de manguitos de diseño propio.

Fuente: Prog. Hidroener.ihh. UMSA.

Fig. 54. Equipos de generación proyectos Munaypata, Prov. Inquisivi, Quinuni y Palmeras, Prov. Sud

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

El equipo más antiguo que se instaló, data del año 1988 en el proyecto Microcentral hidroeléctrica San Pedro de Condo., este equipo funcionó reducido tiempo debido a una serie de problemas, pero fue el origen del desarrollo de los equipos con que actualmente se cuenta.

Fig. 55. Equipos de generación proyectos Yanamayu, Prov. Sud Yungas, Sandillani, Prov. Nor Yungas, La Paz y Quetena, Prov. Sud Lipez. Potosí.

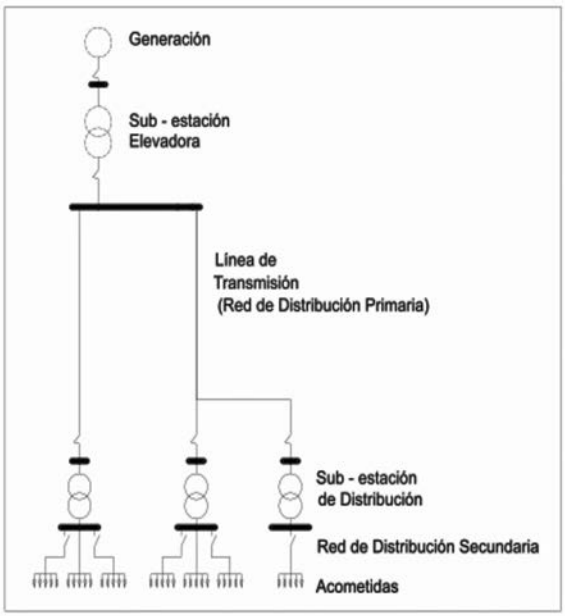
Fuente: Prog. Hidroener. Ihh UMSA.

El 81% de los equipos instalados se encuentran actualmente en operación. El equipo más antiguo en operación data del año 1994, instalado en el proyecto Microcentral hidroeléctrica Choro ubicado en la Prov. Caranavi del Departamento de La Paz.

3.3 Redes eléctricas

Las líneas de transmisión y redes de distribución eléctrica, a partir de la generación en la microcentral hidroeléctrica, se esquematizan en la fig. (56).

Fig. 56. Esquema eléctrico LT y RDS



Fuente: Ref. Bibl. (1)

El sistema de generación está conformado por la micro central hidroeléctrica y la sub - estación elevadora. La línea de transmisión se inicia a la salida de la de la sub - estación elevadora y llega hasta la sub - estación de distribución en el centro poblado, donde se inicia el sistema de distribución formado por dos sub - sistemas: el sub - sistema de distribución primaria que corresponde a las líneas de alimentación de la sub - estación de distribución, y el sub - sistema de distribución secundario formado por las redes de alumbrado público y las de servicio doméstico hasta el medidor de cada consumidor. Las líneas de transmisión pueden

ser trifásicas de tres conductores, trifásicas de cuatro conductores, monofásicas de dos conductores o monofásicas de un conductor con retorno por tierra.

Cuando la generación, es decir la casa de máquinas, se encuentra cercana al centro poblado y la potencia generada es reducida, es posible realizar la transmisión en baja tensión, con un conductor apropiado, eliminando los transformadores. Es el caso de varios de los proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético.

En el proyecto "Microcentral Hidroeléctrica para el Procesamiento de Fibras Naturales Agua Blanca", ubicado en la Provincia Franz Tamayo del Departamento de La Paz, la casa de máquinas de la planta hidroeléctrica, se halla ubicada a una distancia de 100 m de la población de Agua Blanca, específicamente de la plaza de la comunidad. La transmisión desde la casa de máquinas se realizó en baja tensión utilizando cable cuádruplex N° 2/0. Considerando la potencia generada, este grosor de cable garantiza una caída de tensión no mayor a 2%.

En la población de Yanamayu (fig. 57), ubicada en la Provincia Sud Yungas del Departamento de La Paz, se construyó una microcentral hidroeléctrica con una potencia instalada de 28 kW, cuya casa de máquinas se encuentra en el extremo de la población. Las casas del pueblo se encuentran ubicadas a ambos lados de la carretera Chulumani - Asunta. La línea de transmisión, desde la casa de máquinas hasta el otro extremo de la población tiene una longitud de 800 m., es una línea trifásica en baja tensión que se tendió utilizando cable cuádruplex ACSR Nº 4.

Fig.57. Línea de transmisión en baja tensión y red de distribución en la población de Yanamayu, Provincia Sud Yungas, La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Cuando la generación se halla a una distancia mayor a 1 km de la población o centro de consumo, dependiendo de la potencia generada, generalmente se suele realizar la transmisión en media tensión. En varios de los proyectos del Programa se han instalado este tipo de redes, es el caso del proyecto "Microcentral hidroeléctrica Palmeras" (fig. 58).

Este proyecto se halla en una zona semitropical de los Yungas, en el Departamento de La Paz. La casa de máquinas se encuentra a 2 km del centro poblado. La línea de transmisión es del tipo trifásica con cuatro conductores de aluminio con alma de acero ACSR Nº 4 a 24.9 kV. Cuenta con dos transformadores, un elevador en la casa de máquinas y uno de distribución en la población.

Fig.58 Transformador de distribución y red de distribución en la población de Palmeras, Provincia Sud Yungas, Departamento de La Paz.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

En forma similar, en la población de Quinuni, vecina de Palmeras, la casa de máquinas se encuentra a 2,8 km de la Población. La línea de transmisión, de 6.9 kV es trifásica de cuatro conductores de aluminio ACSR Nº 4. Cuenta con dos transformadores: un elevador en la casa de máquinas y uno de distribución en la población.

4. PROYECTOS EJECUTADOS

Hasta el año 2011, el Programa Hidroenergético ha intervenido en la ejecución, a diferentes niveles, de 40 Proyectos hidroenergéticos en Bolivia. La gran mayoría de estos proyectos se han ejecutado bajo la modalidad de "autoconstrucción." En anexos se muestran fichas con datos técnicos de todos los proyectos construidos por el Programa.

4.1. Modalidad de ejecución

La modalidad de ejecución de los proyectos, por "autoconstrucción" generalmente considera tres participantes fundamentales: Comunidad Beneficiaria, Ente Financiador y el Programa Hidroenergético.

A continuación se describen las particularidades de esta modalidad de ejecución en las distintas etapas de un proyecto:

Fase de preinversión.

En la fase de preinversión, hasta la etapa de diseño final del proyecto, el Programa Hidroenergético realiza todos los trabajos de campo y de gabinete, desde la identificación de potenciales, evaluación de la demanda hasta la ingeniería del proyecto. El financiamiento para estas tareas, normalmente a nivel logístico, es decir de gastos de viaje y de escritorio en los proyectos chicos y de servicios como levantamientos topográficos y otros estudios que el ihh no realiza en los proyectos más grandes, proviene de los propios beneficiarios, sus Gobiernos Municipales y de otras instituciones que colaboran en el área rural. En esencia, generalmente la preinversión constituye aporte del Programa Hidroenergético.

Normalmente, en esta fase se realiza la preparación de la comunidad para la ejecución del proyecto por autoconstrucción, considerando sus ventajas y obligaciones

Fase de búsqueda de financiamiento
Es la fase donde los representantes de la organización local, normalmente el Comité de Electrificación, conjuntamente con los ingenieros del Programa Hidroenergético acuden a distintas fuentes de financiamiento, sean de Cooperación Internacional o estatales. Regularmente los proyectos llevados a diseño final cuentan con oportunidades de encontrar fuentes de financiamiento, de esta forma se ejecutaron prácticamente todos los proyectos del Programa.
Fase de construcción

Durante la construcción de las obras civiles, hidráulicas y eléctricas, los beneficiarios aportan mano de obra no calificada en forma equitativa y gratuita y materiales locales existentes en la zona como: agregados (piedra, arena, grava), madera, postes, etc., estos aportes constituyen el aporte local al proyecto y permiten a los beneficiarios adquirir el derecho propietario o acción del sistema.

El Programa Hidroenergético asume la dirección - supervisión técnica, del proyecto con cargo a financiamiento externo, pero a costo mínimo, normalmente el costo de la logística y de los viáticos del personal involucrado.

En esta modalidad, la estructura de costos del proyecto contempla normalmente el costo de materiales y equipos, asistencia técnica y mano de obra calificada, sin considerar cargas sociales ni beneficios propios de las constructoras.

Fase de capacitación
Una vez finalizado el proyecto y realizada la instalación de equipos y líneas eléctricas, el Programa Hidroenergético realiza un curso de capacitación para operadores locales. El curso básicamente capacita operadores locales en tareas de operación, mantenimiento y administración del sistema. Normalmente se llega hasta la elección, de parte de la organización local, del o los responsables como el operador y/o administrador del sistema y se establece una tarifa consensuada por consumo de energía. Esta tarifa garantiza la sostenibilidad del proyecto, cubriendo todos los costos de operación, mantenimiento y administración, tanto en personal como en insumos y la creación obligatoria de un fondo de reserva para afrontar grandes contingencias.

Fase de transferencia del proyecto
Posterior a la capacitación, se realiza la transferencia oficial del sistema a la organización local, que a esta altura, cuenta con estatutos y reglamentos propios, para su administración durante la vida del proyecto. El Programa Hidroenergético asume la asistencia técnica futura del proyecto a llamado de los beneficiarios para intervenciones importantes de mantenimiento con cargo a la administración local. La provisión de repuestos y partes se garantiza por tiempo indefinido

Fase de seguimiento y evaluación
El Programa Hidroenergético realiza un permanente seguimiento de los proyectos que se encuentran en operación y que se constituyen en fuente permanente de información para el desarrollo de nuevas innovaciones tecnológicas.

La ejecución de proyectos de hidrogeneración por autoconstrucción se justifica por los siguientes aspectos:

- Bajo costo frente a cualquier otra modalidad, al no incluir los costos normales de las empresas constructoras
- Aporte efectivo de los beneficiarios en materiales locales y mano de obra no calificada, que repercute en la identificación y apropiación del proyecto por parte de estos
- La identificación con el proyecto y el derecho propietario de los beneficiarios sobre el sistema hidroenergético, facilita la implantación de la tecnología y la sostenibilidad del proyecto a lo largo de su vida útil
- La administración local y autónoma del sistema no altera la realidad sociocultural de la comunidad, al contrario fortalece la organización local y tiene alto impacto en la generación de riqueza, ya sea por tarifas bajas o simplemente porque el contar con energía no significa la transferencia de recursos a otras regiones o países

La ejecución de proyectos hidroenergéticos por autoconstrucción, es posible si:

- Existe entidad responsable técnicamente de todos los componentes y de cada fase del proyecto
- Existe el compromiso de la comunidad de ejecutar bajo esta modalidad
- Existe la organización local de base, responsable de la gestión del proyecto
- Los financiamientos del ente Financiador se adecuan a esta modalidad

4.2 Proyectos ejecutados

Como se dijo anteriormente, desde sus inicios, hasta principios del año 2012, El Programa Hidroenergético ha diseñado, ejecutado o participado en el diseño y ejecución de 40 proyectos de hidrogeneración en pequeña escala a nivel nacional como se muestra en la tabla (2)

Fig. 59. Población de San Pedro de Condo

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

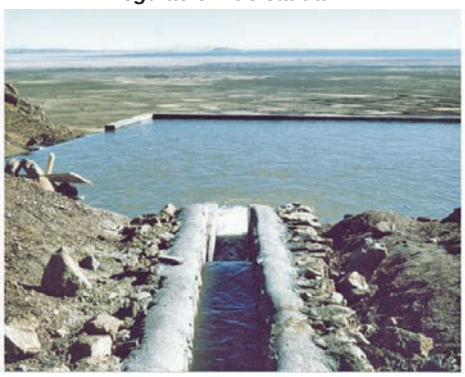
El primer proyecto, que dio origen al Programa, se realizó entre los años 1986 y 1988 en la comunidad de San Pedro de Condo, Departamento de Oruro. La microcentral hidroeléctrica estaba destinada a satisfacer la demanda de un antiguo pueblo, cuyo origen se remonta a la época de las reducciones españolas del siglo XVI. La población, de origen aymara, en el año 1986 contaba con 60 familias estables y otras 60 itinerantes. Las características técnicas del proyecto eran:

- Microcentral hidroeléctrica. Altura neta = 62.4 m. Caudal de diseño = 125 l/s. Potencia instalada = 45 kW.
- Obra de toma tipo azud derivador construida sobre el río Azanaques con azud de 9 m. de largo y 1.3 m de altura, con capacidad para captar un caudal de 150 l/s.
- Canal de aducción de 4815 m de longitud, revestido con piedra emboquillada con mortero de cemento.
- Cámara de carga de regulación diaria de 25x25m de base y 1.7 m de altura.
- Tubería de presión de acero de 10 pulgadas de diámetro y 204 m. de longitud.
- Casa de máquinas de 30 m2 de superficie interior.
- Equipo de generación: turbina tipo Banki T3 diseñada por SKAT (19) y fabricada en el ihh. Q = 125 l/s, Hn = 62.4 m.

  Generador trifásico, 1500 RPM, 220/380 volts, 50 ciclos, 75 KVA. de procedencia peruana sin escobillas con regulador de voltaje AVR.

  Regulador de velocidad electrónico de regulación de carga Thomson and Howe Canadá.
- Línea eléctrica de media tensión entre la casa de máquinas y la población de 1033 m de longitud, 25 KV.
- Red de distribución eléctrica en baja tensión en la población.

Fig. 60. Canal y cámara de carga de regulación de caudal



Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

Fig.61. Casa de máquinas, transformador elevador y tubería de presión.

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

El proyecto funcionó aproximadamente un año y se paralizó debido a los siguientes factores:

- Una descarga atmosférica dañó regulador de voltaje tipo AVR del generador. Debido a que no se contaba con este repuesto en el mercado local y su importación demandó meses, la planta dejó de operar durante ese tiempo.
- El agua del río Azanaques contaba con alta acidez, originada al pasar por desmontes mineros antiguos que existían en la parte alta de la cuenca. El agua

ácida atacó a todos los elementos metálicos de la central: compuertas metálicas de las obras, tubería de presión, válvula de cierre y turbina hidráulica, ocasionando alta corrosión.

- La turbina Banki sufrió desgaste acelerado principalmente de los álabes del rotor, debido al espesor reducido de estos (2.5 mm), al agua ácida y al arrastre de sedimento.

Fig.62. Turbina Banki T3

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

No se intentó una rehabilitación de la planta debido a que la población se conectó a la línea eléctrica nacional proveniente de la vecina población de Huari poco tiempo después y debido a los problemas que planteaba la acidez del agua para la durabilidad de los elementos metálicos, aspecto no considerado inicialmente. Actualmente la infraestructura de la planta con algunas mejoras se utiliza para riego de la parte baja de la comunidad.

Posteriormente, entre los años 1992 y 2002, con el apoyo del FCIL, Fondo Canadiense para Iniciativas Locales, de la Embajada de Canadá, se ejecutaron 5 proyectos, en el Departamento de La Paz. Algunos aspectos de los proyectos más interesantes y de mayor impacto se describen a continuación:

Microcentral Hidroeléctrica Pongo

En el año 1992 se construyó el proyecto Microcentral Hidroeléctrica Pongo ubicado aproximadamente a 30 km de la ciudad de La Paz, sobre la carretera a los Yungas.

Esta pequeña central de 9 kW de potencia instalada satisfacía la demanda de energía de 15 casetas de familias dedicadas al expendio de comidas a los viajeros a los Yungas. Las familias residían en el lugar en viviendas aledañas a las casetas.

En la parte alta del pequeño río que se aprovechó, se construyó una pequeña presa de embalse (fig. 63 izquierda) para la regulación diaria del caudal en época seca, debido a que en esta época se reducía notablemente la oferta de caudal. De la presa partía un canal no revestido de 120 m de longitud, que llevaba el caudal hasta un desarenador cámara de carga (fig. 63 centro) ubicado en las alturas de la población, de donde partía la tubería de presión de PVC de 4” de diámetro y 124 m de longitud hasta la casa de máquinas (fig.63 derecha).

El equipo degeneración estaba compuesto por una turbina tipo Pelton vaciada en poliuretano flexible, un generador monofásico de 12 KVA y un regulador de velocidad electrónico.

La planta prestó servicios durante 18 años, hasta el año 2010, cuando llegó la red

nacional a la localidad, y fue desechada debido a que la generación de potencia se reducía en época seca, durante aproximadamente 4 meses, por escasez de caudal.

Fig.63. MCH Pongo. Se observa el pequeño embalse (izquierda), la cámara de carga y casetas de venta de comidas en la parte inferior sobre la carretera (centro) y la casa de máquinas (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Microcentral Hidroeléctrica Choro

Una experiencia interesante fue el proyecto Microcentral hidroeléctrica Choro financiado por el FCIL. Se trata de una microcentral hidroeléctrica de 16 kW de potencia construida en el año 1994 en la población de Choro, Provincia Caranavi del Departamento de La Paz.

Esta pequeña planta se construyó aprovechando el potencial de un pequeño río afluente del río Coroico (fig.64) en la comunidad de Choro Alto, sobre la carretera La Paz - Caranavi.

Fig. 64. Población de Choro. Se observa el río Coroico

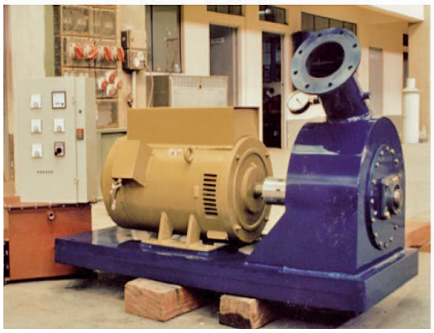
Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

La comunidad de Choro (fig. 64), distante a 1.2 Km se conectó mediante una línea eléctrica de media tensión. La planta satisface la demanda de energía de Choro Alto y Choro.

La planta trabaja prácticamente sin interrupción durante 17 años hasta la actualidad pese a que hacen varios años que llegó a la población la línea eléctrica nacional. De acuerdo a lo observado, esta situación se debe a los siguientes aspectos:

- La tarifa que se cobra es menor que la que cobra la red nacional en pueblos vecinos, esto permite un ahorro efectivo por consumo de energía.
- La tarifa se fija internamente en la comunidad, de acuerdo a la capacidad de pago de los socios y los gastos de operación del sistema.
- El pago regular de las tarifas ha generado ahorro interno para la Organización local lo que ha permitido crear un fondo de crédito de libre disponibilidad para los socios, los créditos generalmente se invierten en labores agrícolas y mejoramiento de las tiendas y pensiones de la comunidad.

Fig. 65. Equipo de generación MCH Choro



Fuente: Prog. Hidroener. ihh UMSA.

Fig. 66. Desarenador cámara de carga

Fuente: Prog. Hidroener. ihh UMSA.

Una institución que cooperó decididamente en el desarrollo y cumplimiento de las metas del Programa, financiando una serie de proyectos, fue el Programa de Pequeñas Donaciones PPD del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD.

Entre los años 1997 y 2011 financió la ejecución de 11 proyectos en el Departamento de La Paz. Estos proyectos fueron exitosos y de gran impacto en la población beneficiaria, prueba de ello es que todos ellos, construidos en diferentes años, se encuentran actualmente en operación proveyendo de energía a las comunidades.

Un aspecto importante de los proyectos financiados por el PPD, fue la incorporación de componentes productivos que permitieron el aprovechamiento de la energía en procesos productivos durante las horas de poca demanda. Algunos de estos proyectos con aspectos interesantes se describen a continuación.

Microcentral Hidroeléctrica, Planta Procesadora de Locoto y Café Camata

Con el financiamiento del PPD, en el año 2003, se concluyó, el proyecto: "Microcentral Hidroeléctrica y Planta Procesadora de Locoto y Café Camata", ubicado en la población de Camata, Provincia Muñecas del Departamento de La Paz, a una distancia aproximada de 300 km. de la ciudad de La Paz

Fig. 67. Población de Camata.

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

El proyecto cuenta con dos componentes fundamentales: una microcentral hidroeléctrica destinada a cubrir la demanda de energía eléctrica de la población de Camata (110 familias en el año 2003) y una planta procesadora de locoto y café utilizando la energía eléctrica generada por la

planta. La microcentral hidroeléctrica tiene las siguientes características:

- Microcentral hidroeléctrica de derivación. Genera una potencia instalada de 27 kW, con un salto neto de 141 m. y un caudal de 30 l/s.
- Obra de toma tipo Tirol construida sobre el río Chojlaya a una distancia de 1 km de la población. Cuenta con un azud de 2.6 m de longitud y 2.0 m de alto, en cuyo cuerpo se encuentra la galería de captación.
- Para llevar el agua captada por la obra de toma hasta la cámara de carga, se tendió una tubería de aducción de PVC tipo alcantarilla de 6 pulgadas de diámetro, con pendiente de 3% y longitud de 370 m.
- Al final de la aducción se construyó un desarenador - cámara de carga de hormigón (fig.68 derecha), de 8.0 m de longitud, 1.5 m de ancho y 1.2 m de profundidad máxima.
- La tubería de presión, que lleva el agua desde la cámara de carga hasta la turbina hidráulica es una tubería compuesta de dos tramos: el primero a partir de la cámara de carga de 186 m. de longitud, se tendió de PVC E40 de 6 pulgadas de diámetro y el segundo de 150 m de longitud, también de 6 pulgadas de diámetro, de Fierro Galvanizado.
- La casa de máquinas donde se instaló el equipo de generación, se construyó con paredes de tapial, como se acostumbra en la zona, con cubierta de calamina ondulada, pisos y canal de salida de las aguas turbinadas de hormigón ciclópeo (fig. 68 centro).
- El equipo de generación cuenta con una turbina tipo Pelton de un inyector, un generador trifásico de 40 KVA y un regulador de velocidad electrónico.
- Para transportar la energía generada en la casa de máquinas hasta la población, se instaló una línea eléctrica de media tensión (6.9 kV) de 1 km de longitud, contando con dos transformadores: un elevador en la planta y uno de distribución en la población.
- En la población se instaló una red eléctrica de distribución en baja tensión que cubre toda el área urbana (fig. 68 derecha).

Fig.68. MCH Camata. Desarenador - cámara de carga (izquierda), casa de máquinas y planta procesadora (centro) y red eléctrica de distribución en el pueblo (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

La planta procesadora de locoto y café cuenta con el siguiente equipamiento:

- Horno eléctrico de recirculación de agua caliente
- Máquina eléctrica cortadora de locoto
- Máquina eléctrica peladora de café
- Máquina eléctrica tostadora de café
- Molino eléctrico a piedras.

En la actualidad, la microcentral hidroeléctrica se encuentra en funcionamiento, cubriendo la demanda doméstica y pública de la población. La organización creada para la gestión del componente productivo, es decir el procesamiento de locoto y café no ha logrado afianzarse, trabajando intermitentemente por una serie de razones dignas de mayor análisis y estudio, excepto el molino que ha prestado servicios principalmente para la molienda de diversos granos que se producen en la región.

Microcentral Hidroeléctrica para el Procesamiento de Fibras Naturales Agua Blanca

La comunidad originaria de Agua Blanca (fig. 69) se encuentra ubicada en los contrafuertes de la Cordillera de Tres Cruces en el Área Natural de Manejo Integrado Apolobamba, en la Provincia Franz Tamayo del Departamento de La Paz, a una altura de 3800 msnm. La población se construyó a la vera de la carretera La Paz - Pelechuco aproximadamente a 5 km antes de llegar a la población de Pelechuco, a una distancia de 325 km de la ciudad de La Paz. En vehículo liviano normalmente se llega en 9 horas debido a la precariedad de buena parte del camino. La zona cuenta con alta nubosidad presentando generalmente neblinas ascendentes a partir de medio día. La temperatura media anual es de 8 °C y la precipitación media anual de 700 mm.

Fig. 69. Población de Agua Blanca

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

Agua Blanca es un pueblo relativamente joven que cuenta con 37 años desde que algunos originarios de la región se asentaron en la localidad. La economía de la población gira en torno a la agricultura, la ganadería y la minería temporal. La agricultura se realiza en pequeña escala debido a la carencia de terrenos extensos que permitan su práctica mayor. Actualmente cobró importancia la minería debido los buenos precios de los minerales en el mercado mundial. Se cultiva principalmente la papa, haba, oca, papalisa y cereales. La ganadería en las zonas altas tiene mayor importancia. Se crían principalmente camélidos (llamas y alpacas), ganado ovino y pocos bovinos. Actualmente la minería cooperativizada del oro cuenta importancia en la economía de la zona. La Cooperativa Cerro Hermoso distante a 3 km de Agua Blanca, tiene varios socios de esta comunidad, pero la actividad minera es temporal dependiendo del precio del metal y de la existencia de las vetas en los socavones.

Otra labor realizada principalmente por algunas mujeres del pueblo es la actividad artesanal de tejidos de lana de llama y alpaca. Esta actividad cuenta con una organización local denominada la Asociación de Artesanas Nueva Esperanza. El trabajo se realiza en un taller de tejidos perteneciente a la Asociación equipado con telares manuales.

Fig. 70. Albergue turístico Agua Blanca.

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

Existe también en la comunidad un Albergue Turístico (fig.70). En el año 2004, este emprendimiento tenía 60 socios comunarios y estaba destinado a alojar a los turistas que transitan el Parque Apolobamba contando con infraestructura con capacidad para 12 camas.

Desde los inicios de la creación del pueblo, los pobladores plantearon la idea de aprovechar el potencial hidroenergético de la zona, esta idea se concretó a partir de un proyecto de micro hidrogeneración elaborado por el Programa Hidroenergético, financiado por el PPD y ejecutado en forma conjunta por la comunidad y el Programa, entre los años 2004 y 2005.

El proyecto, consistió en una microcentral hidroeléctrica para cubrir la demanda de energía doméstica y pública de 88 familias de Agua Blanca y el equipamiento del taller artesanal de la Asociación de Artesanas Nueva Esperanza con un tanque de lavado de lana eléctrico, un tanque de teñido de lana eléctrico, diez hiladoras de lana eléctricas individuales y cuatro telares de madera de accionamiento manual. También se contemplaba la provisión de energía al Albergue Turístico.

Fig. 71. Desarenador - cámara de carga.

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

La Planta hidroeléctrica cuenta con una potencia instalada de 30 kW, con salto neto de 175,2 m. y caudal de equipamiento de 30 l/s.

La obra de toma, es una toma convencional tipo azud derivador, con un azud de 5.7 m de longitud y 1.0 m. de altura máxima (fig.71). La central no cuenta con tubería o canal de aducción, inmediatamente aguas abajo de la reja de captación de la obra de toma, se construyó el desarenador - cámara de carga donde se inicia a tubería de presión.

El desarenador - cámara de carga tiene 9 m de longitud, 1.0 m de ancho y una profundidad máxima de 1.3 m (fig.72 izquierda).

La tubería de presión es de 495 m. de longitud, 395 m de PVC y 100 m de fierro galvanizado de 6” de diámetro, el tramo metálico debido a la presión existente.

La casa de máquinas, de 16 m2 de superficie útil, fue construida con paredes de piedra como se acostumbra en la zona, con cubierta de calamina ondulada.

El equipo de generación (fig.72 centro) está compuesto por una turbina tipo Pelton de 2 inyectores con agujas de regulación de accionamiento manual, un generador trifásico de 40 KVA y un regulador de velocidad electrónico con disipación de energía remanente en resistencias sumergidas en agua instaladas en tanque metálico.

Debido a que la central está ubicada solo a 100 m de la población, la línea eléctrica de transmisión se tendió en baja tensión y la red de distribución abarcó a toda la población.

Fig.72. MCH Agua Blanca. Desarenador - cámara de carga en la obra de toma (izquierda), equipo de generación (centro), tanques eléctricos de lavado y teñido de lana (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Energía Hidroeléctrica para el Pelado de Arroz, Taller Artesanal y Comunidad Poroma.

Entre los años 2005 y 2006, con financiamiento del PPD, dirección y asistencia técnica del Programa Hidroenergético y ejecución de la comunidad, se construyó un proyecto de hidrogeneración en la comunidad de Poroma, perteneciente al Cantón San Juan de Challana, Provincia Larecaja Tropical del Departamento de La Paz.

La comunidad de Poroma es una comunidad nucleada que se ubica a 25 km de la población de Guanay y 230 km de la ciudad de La Paz. Su fundación se refiere a la época precolombina, su población con fuertes rasgos originarios, proviene en su mayoría de la etnia Leco y de algunos migrantes aimaras del altiplano paceño. La población es trilingüe, hablan quechua, español y aimara.

La comunicación por vía carretera es de reciente data, por esta falta, la actividad productiva no se encuentra orientada al mercado. Predomina la producción para el autoconsumo, de arroz, variedad de frutas tropicales, cereales y otros, como la caña de azúcar que es utilizada para la elaboración del empanizado, como alternativa al azúcar. La canasta familiar requiere de pocos componentes procedentes de los

mercados externos La economía familiar se basa en la agricultura, principalmente arroz que es comercializado en Guanay o Caranavi, el café que puede ser una opción interesante por sus condiciones climáticas, se encuentra en etapa inicial de introducción. El barranquilleo, actividad de recuperación de pequeñas pepita de oro en los depósitos aluviales de los ríos de la zona, sigue siendo una actividad importante para soportar la economía familiar especialmente en época de post cosecha donde la actividad agrícola demanda menos mano de obra.

El proyecto contaba con los siguientes objetivos específicos:

1. Construcción de una microcentral hidroeléctrica con potencia suficiente para cubrir las demandas de una peladora de arroz, un taller artesanal de tallados y artesanías en madera y las necesidades domésticas y públicas de la población de Poroma.
2. Construcción de la infraestructura y equipamiento de un taller de artesanías y tallados en madera con máquinas eléctricas: torno, taladro de banco, máquina de carpintería universal (sierra circular, cepillo, grueseadora, escoplo) y herramientas menores.
4. Instalación de una peladora de arroz.
5. Electrificación de la comunidad de Poroma mediante la instalación de la red eléctrica cubriendo 60 familias y el alumbrado público.
6. Capacitación de la comunidad en artesanía y tallados en madera y de operadores locales en operación, mantenimiento y administración de la microcentral hidroeléctrica.

Todos los objetivos planteados inicialmente se cumplieron durante la ejecución del proyecto.

La microcentral hidroeléctrica cuenta con las siguientes características:

Fig. 73. Obra de toma tipo azud derivador

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

Microcentral hidroeléctrica de derivación con potencia instalada de 40 kW, altura neta de 51,2 m. y caudal de equipamiento de 160 l/s. La obra de toma es del tipo convencional con azud derivador de 10 m de longitud y 2,5 m de alto en la parte más profunda del río, tiene una bocatoma con reja de dimensiones 0.67 m. 0.6 m.(fig.76)

Aguas abajo de la bocatoma de la obra de toma, se construyó un desgravador para atrapar el sedimento grueso que ingresa por la bocatoma. Para llevar el agua desde la obra de toma hasta la cámara de carga, se instaló una tubería de aducción

(fig.74) de 360 m de longitud, con pendiente 1%, compuesta por dos tubos de PVC de 8 y 12 pulgadas.

A 150 m de la toma se perforó en roca un túnel 20 m de longitud para el paso de la tubería. Ambas tuberías se diseñaron para conducir un caudal total de 160 l/s.

El desarenador - cámara de carga (fig.75 izquierda), tiene una longitud de 11.5 m., una ancho interior de 1.2 m. y una profundidad máxima en la cámara de carga, de donde parte la tubería de presión, de 1.8 m.

La tubería de presión de longitud de 114 m (fig.75 centro), es de PVC de diámetro 10 pulgadas y cuenta con dos anclajes, uno prácticamente a la salida de la cámara de carga y el segundo a la llegada a la casa de máquinas.

Fig. 74. Tubería de aducción de PVC

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

La casa de máquinas se construyó de ladrillo visto de 16 m2 de área útil, con cubierta de calamina galvanizada ondulada y cimientos, sobrecimientos, pisos y canal de salida de hormigón (fig.75 derecha).

El equipo de generación está compuesto por una turbina tipo Michell Banki con rotor de 30 cm de diámetro. El equipo cuenta con un generador eléctrico trifásico autoexitado con escobillas, de 80 KVA de potencia y un controlador o gobernador de carga electrónico con disipación de energía por medio de resistencias eléctricas sumergidas en agua. Posteriormente, el año 2010, se cambió la turbina por otra también tipo Banki de última generación y mejor desempeño diseñada en el ihh.

Debido a que la casa de máquinas se encuentra solo a 450 m del centro de la población, la línea eléctrica de transmisión se tendió en baja tensión utilizando conductor de aluminio tipo cuádruplex AWG 2/0. La distribución en la población se realizó a través de una red monofásica radial, a partir del centro de carga de la comunidad ubicado en las cercanías de la iglesia, utilizando cable de aluminio dúplex Nº4.

Fig.75. MCH Poroma. Desarenador - cámara de carga (izquierda), anclaje superior de la tubería de presión (centro), casa de máquinas (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Debido a que la zona es básicamente productora de arroz, se instaló una peladora eléctrica de arroz de industria brasilera (fig 76), con capacidad para pelar 150 kg/hora.

Fig.76. Peladora eléctrica de arroz

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig.77. Taller de tallados y artesanías en madera

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

El taller de tallados y artesanías en madera (fig.77) se instaló con la finalidad de aprovechar los abundantes recursos maderables de la zona. El taller se equipó con la siguiente maquinaria: maquina universal de carpintería compuesta por: sierra circular, cepillo, tupí y grueseadora escoplo, un torno para madera, un taladro de banco y herramientas menores. Para la capacitación se contrató a un artesano profesional con mucha experiencia que dictó un curso teórico práctico en la comunidad de fabricación de artesanías y tallados en madera, por espacio de tres semanas.

Microcentral Hidroeléctrica y Prebeneficiadora de Café Nogalani

La comunidad de Nogalani se encuentra ubicada en la Provincia Sud Yungas del Departamento de La Paz, perteneciente a la quinta sección municipal La Asunta, a una distancia aproximada de 100 km de la población de Chulumani y a 230 km de la ciudad de La Paz. Es una comunidad no nucleada, dispersa, donde las casas se encuentran separadas a una distancia aproximada de 100 m entre ellas.

Se enclava en los contrafuertes de la Cordillera Oriental en las cercanías del río Bopi. La zona presenta clima subtropical, con temperaturas que pasan los 30 ºC y precipitaciones medias anuales del orden de los 800 mm. La altura de la población es de 980 m.s.n.m.

La configuración del terreno, montañosa de fuertes pendientes, solo permite realizar una agricultura manual poco extensiva dedicada a productos típicos de la zona como café, coca, cítricos, plátano, mango, producción que se comercializa generalmente en la población de Chulumani y en la ciudad de La Paz.

Como en toda la región, existe producción de coca, pero a diferencia de otras comunidades cercanas donde predomina este cultivo, la producción de café es importante. Esto se debe probablemente a que los suelos de la comunidad no son tan aptos para el cultivo de la coca.

En Noviembre de 2006, respondiendo a convocatoria pública lanzada por el PPD para la presentación de proyectos, el Programa Hidroenergético presentó el proyecto "Microcentral Hidroeléctrica y Prebeneficiadora de Café Nogalani" que sintéticamente proponía la construcción de una microcentral hidroeléctrica en la comunidad de Nogalani para cubrir la demanda de energía doméstica y pública de esta comunidad (80 familias el año 2006) y la transformación a energía eléctrica, generada por la microcentral, de una planta prebeneficiadora de café existente, que trabajaba con motores a gasolina.

La construcción del proyecto se inició a mediados de 2007 y culminó a principios de 2009.

La planta hidroeléctrica cuenta con las siguientes características:

- Planta hidroeléctrica de derivación con potencia instalada de 27.8 kW, altura neta de caída de 41.2 m y caudal de equipamiento de 130 l/s.
- Los componentes de la planta son: obra de toma, tubería de aducción, desarenador - cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas, equipo de generación, líneas de distribución eléctrica en baja tensión.
- La obra de toma tipo azud derivador construida sobre el río Nogalani, con azud de 10 m de longitud, de altura máxima de 1.2 m., cuenta con un desgravador de toma necesario para retener el material grueso que ingresa por la bocatoma. (figs. 78 y 79).

Fig. 78. Obra de toma sobre el río Nogalani

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig. 79. Desgravador de la toma

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

- Debido a la baja pendiente del río a aprovechar, se tendió una tubería de aducción (fig.80) de bastante longitud (846 m), con el objeto de ganar la altura requerida. La tubería de PVC tipo alcantarilla de 12 pulgadas se instaló con pendiente de 1.0%. Debido a la longitud de la aducción se debieron construir 5 cámaras en sitios donde existían curvas cerradas, estas cámaras sirven también como cámaras de inspección.
- Al final de la aducción se construyó un desarenador, necesario para decantar las arenas que arrastra el agua y que pueden dañar a la turbina y aledaño a este la cámara de carga (fig.82 izquierda). Toda la estructura mide 11 m de largo, tiene un ancho interior de 1.0 m y una profundidad máxima en la cámara de carga de 1.8 m.

Fig. 80. Aducción en construcción

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig. 81. Cámara de cambio de dirección

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

- La tubería forzada (fig.82 centro), que conduce el agua a presión desde la cámara de carga a la turbina hidráulica, es una tubería de PVC de 10 pulgadas y 90 m de longitud.
- La casa de máquinas se construyó de ladrillo visto, con cubierta de calamina ondulada y canal de desfogue de hormigón. El área interior es de 16 m2.
- El equipo de generación (fig.82 derecha) está compuesto por una turbina tipo Michell Banki con regulación de caudal por estrangulación del arco de admisión, un generador trifásico de 40 KVA y un regulador de velocidad electrónico con disipación de energía no consumida mediante resistencias sumergidas en agua.

Fig.82. Desarenador - cámara de carga (izquierda), tubería de presión antes de ser enterrada (centro), equipo de generación (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

- Debido a la escasez de fondos, solo se instalaron algunas líneas eléctricas en baja tensión hasta un radio de 1 km de la planta hidroeléctrica. Hasta la planta prebeneficiadora de café, distante 220 m de la casa de máquinas se tendió una línea trifásica en baja tensión con cable de Aluminio cuádruplex Nº 4

En la planta prebeneficiadora de café, que contaba con infraestructura anterior al proyecto, se instalaron los siguientes equipos:

- Motor eléctrico de 5 HP para la despulpadora de café en reemplazo del motor a gasolina existente. (fig.83 derecha)

- Molino eléctrico a piedras con capacidad de 2 qq/hora (fig.83 izquierda)
- Tostadora de café eléctrica con capacidad de 1 qq/hora.

Actualmente la planta viene operando con normalidad y se está reemplazando las líneas en baja tensión por líneas monofásicas en media tensión llegando a incluso a las comunidades vecinas.

Fig.83. Proyecto Nogalani. Molino eléctrico a piedras (izquierda) y despulpadora de café con motor eléctrico. (derecha)

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Otro grupo de proyectos fueron financiados por entes estatales como el Servicio Nacional de Aéreas Protegidas SERNAP, que financió la ejecución de proyectos en los parques nacionales, como los proyectos Microcentral Hidroeléctrica Chucura, ubicado en el Parque Cotapata y los proyectos Microcentral Hidroeléctrica Volcán Blanco y Microcentral Hidroeléctrica San José Acherales ubicados en la Reserva de flora y fauna Tariquía en el Departamento de Tarija. El Programa Nacional de Cambios Climáticos PNCC, antiguamente dependiente del Ministerio de Planificación del Desarrollo, conjuntamente con el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas VMEEA apoyó financieramente la ejecución de los proyectos Microcentral Hidroeléctrica Quinuni y Microcentral Hidroeléctrica Palmeras.

Microcentral Hidroeléctrica y Molino San José Acherales.

La comunidad de San José de Acherales se encuentra ubicada en el cantón Tariquía, 1° sección municipal Padcaya, Provincia Arce del Departamento de Tarija, en la reserva de flora y fauna Tariquía. El centro poblado se halla a una altura de 1245 msnm, la localidad corresponde a la formación de los Yungas de selva de montaña de las laderas orientales de la cordillera de los Andes, de clima subtropical.

Esta comunidad, vive aislada debido a la falta de carretera. Para llegar al sitio, es necesario realizar una caminata de aproximadamente 8 horas desde la localidad llamada la Hondura hasta donde llega el camino carretero. El clima de la región permite una agricultura de valle y sub trópico, con gran diversidad de productos agrícolas, desde la papa a la caña de azúcar, pasando por frutas como lo cítricos y durazno, hasta verduras.

Los comunarios de San José, se encuentran aislados, no solo físicamente por falta de conexión caminera, sino también de la actividad económica que significa el intercambio de productos y servicios con el resto del país. Si bien es una zona con buen potencial productivo, debido a su privilegiado clima y otras condiciones para la agricultura, como

la disponibilidad de agua para riego, suelos muy fértiles, correspondientes a los pisos que van de los 1200 msnm hasta los 2700 msnm, la producción se orienta en función del autoconsumo. El excedente normalmente no puede ser comercializado, como es el del caso del maíz de excelente calidad, debido a que su valor en el mercado de la ciudad de Tarija, no cubre en muchos casos el costo de transporte que significa 8 horas a lomo de bestia. Entonces la estrategia de la economía familiar se concentra en algunos productos de mayor valor en el mercado que se comercializan en limitadas cantidades como el maní y los animales de carne como vacunos y porcinos, estos últimos privilegiados con la producción de maíz abundante y que pueden ser sacados por sus propios medios, la venta de estos productos constituyen el ahorro familiar.

Debido a que la producción de maíz es importante en la zona, tanto para el consumo humano como animal, se planteó un proyecto de generación hidroeléctrica y la instalación de un molino eléctrico para molerlo. La construcción de la planta demandó grandes esfuerzos a los beneficiarios principalmente para el traslado de los materiales hasta la comunidad como cemento, tuberías y máquinas de bastante peso a lomo de bestia y de humanos. El traslado del equipo de generación y del molino de granos, demandaron varios días a pie.

La planta hidroeléctrica tiene las siguientes características técnicas: potencia instalada = 15 kW, altura neta = 12.5 m., caudal de equipamiento = 200 l/s. La obra de toma es una toma lateral sin azud que cuenta con una bocatoma de 1.1 m x 0.4 m. La aducción consiste en un canal abierto sin revestimiento de 360 m. de longitud. (figs. 84) El desarenador cámara de carga se vació de hormigón y cuenta con 8 m. de longitud y 1.4 m de ancho (fig 85).

Fig.84. Proyecto San José Acherales. Canal de aducción sin revestir y puente canal de madera.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

La tubería de presión es de PVC de 10 pulgadas de diámetro y 42 m de longitud. La casa de máquinas, donde se instaló el equipo de generación y el molino de granos, se construyó de adobe con área útil 16 m2. El equipo de generación consiste en una turbina tipo Banki, un generador trifásico de 25 KVA y un regulador electrónico de velocidad.(fig.86)

El proyecto se ejecutó en la modalidad de autoconstrucción entre los años 2005 y 2006 beneficiando a 70 familias y con la molienda de granos también a varias comunidades de la región.

Fig.85. Desarenador - cámara de carga

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Las líneas eléctricas se instalaron posteriormente con ayuda de la Alcaldía de Padcaya, abarcando a las 70 familias de la comunidad con servicio para fines domésticos, escuela y alumbrado público.

El proyecto fue de gran impacto en la región principalmente debido a la molienda de maíz que se produce en cantidades, destinado al consumo humano y del ganado porcino que predomina en la zona. La demanda de molienda de granos es continua y significa ingresos económicos permanentes para la organización local.

Fig.86. Proyecto San José Acherales. Casa de máquinas con canal de salida, molino de granos y equipo de generación hidroeléctrico.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Microcentral Hidroeléctrica Quinuni

La población de Quinuni (fig.87), perteneciente a la Alcaldía Municipal de Asunta, se encuentra ubicada en la Provincia Sud Yungas del Departamento de La Paz, aproximadamente a 80 km. de la población de Chulumani y 20 km. de Asunta.

Quinuni es una población nucleada cuyos orígenes se remontan a la década de los años 50 y 60 del siglo pasado, conformada principalmente por emigrantes de las regiones altiplánicas del país (La Paz, Oruro, Potosí) como consecuencia del minifundio imperante en sus regiones de origen. Existen también pobladores de otras zonas yungueñas que emigraron a esta zona en busca de suelos más fértiles para la agricultura. La población es de origen aymara - quechua predominando el idioma aymara aunque también se habla el quechua y el español.

Fig.87. Población de Quinuni Prov. Sud Yungas

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

La economía familiar se basa en la agricultura, principalmente del cultivo de la coca, el café, cítricos, plátano y arroz. La práctica agrícola es totalmente manual sin posibilidades de mecanización debido a las fuertes pendientes del terreno lo que imposibilita el uso de maquinaria agrícola. La producción se comercializa en ferias existentes en la región (Chulumani, Asunta) y en la ciudad de La Paz.

En el año 2002 por iniciativa de los pobladores y contando con el apoyo de la Alcaldía de Asunta, se construyó una pequeña planta hidroeléctrica sobre el río San Antonio, con el objetivo de cubrir la demanda de energía de la población. A solicitud de la comunidad, el Programa realizó una evaluación técnica de esta planta a principios de 2006. Los resultados de la evaluación evidenciaron graves problemas de diseño y equipamiento:

- Defectuoso diseño de la obra de toma
- Carencia de una cámara de carga y desarenador
- Tubería de presión de gran longitud, reducido diámetro y baja caída, lo que ocasionaba fuertes pérdidas de carga, reducción severa del salto y de la potencia generada.
- Equipo de generación inadecuado para el salto y caudal existentes, sin ningún tipo de gobernación

Estas dificultades impidieron el funcionamiento normal de la planta que prácticamente nunca operó.

En el año 2007, el Programa realiza un nuevo diseño de una planta hidroeléctrica sobre la base de la existente. Esta obra, con el apoyo financiero del PNCC y del VMEEA, se empezó a construir el año 2008, entregándose el 2010. El proyecto benefició a 120 familias con energía para uso doméstico, comercial, alumbrado público y pequeñas aplicaciones productivas.

La central, genera una potencia de 25 kW con una altura neta de 20.8 m. y un caudal de equipamiento de 250 l/s. Cuenta con las siguientes obras:

Obra de toma tipo convencional con azud derivador de hormigón de 8.0 m de largo y 1.0 m de altura máxima sobre el lecho del río. Aguas abajo de la bocatoma la obra incorpora un desgravador de toma, en cuya pared lateral se ha dispuesto un vertedero lateral de excedencias.

Fig.88. Proy. Quinuni. Desgravador de toma

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Aguas abajo del vertedero lateral se ha vaciado una pantalla de hormigón armado que facilita el funcionamiento del vertedero principalmente durante las avenidas cuando ingresa por la bocatoma un caudal mucho mayor al de diseño que debe ser eliminado. (fig. 88)

Para transportar el flujo captado por la obra de toma hasta el desarenador - cámara de carga, se tendió una aducción compuesta por dos tuberías de PVC, una de 10 pulgadas de diámetro y otra de 8 pulgadas, de longitud total 522 m. y pendiente mínima de 2%. Ambas transportan un caudal de 250 l/s. trabajando a tirante parcial (fig. 89). En los codos o cambios de

Fig. 89. Proy. Quinuni. Tuberías de aducción

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

Fig. 90. Proy. Quinuni. Desarenador - c. de carga

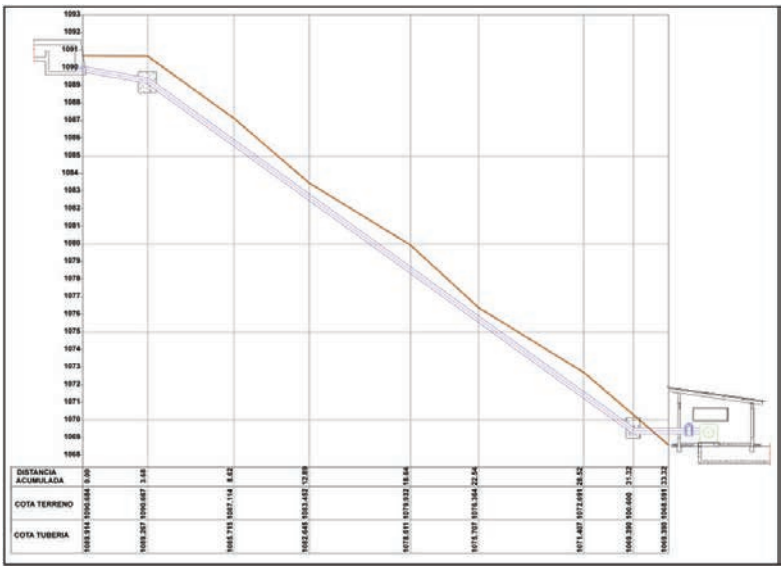
Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

dirección pronunciados, se vaciaron cámaras que permiten a las tuberías realizar giros mayores a 25º sin necesidad de codos fabricados de PVC, sirviendo también como cámaras de inspección principalmente para identificar zonas de taponamiento de las tuberías cuando se presenten estas eventualidades.

Adyacente a la carretera vehicular que comunica Quinuni con la vecina San Pedro, se construyó el desarenador - cámara de carga (fig.90) de 11.3 m de largo, 1.3 m de ancho y 1.8 m de profundidad máxima. Para la disposición de los sedimentos, se tendió una tubería de 10 pulgadas de diámetro que los transporta hasta el canal de desfogue de la casa de máquinas.

La tubería de presión es de material plástico, de PVC de 12 pulgadas de diámetro y de 42 m de longitud (fig 91). La casa de máquinas se construyó de ladrillo visto con cubierta de calamina galvanizada ondulada, cuenta con un área útil de 16 m2. La tubería de disposición de sedimentos que conecta al desarenador con el canal de desfogue de la casa de máquinas se tendió paralela a la de presión como se observa en la fig. (92).

Fig.85. Corte longitudinal tubería de presión.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig.92. Proy. Quinuni. Tubería de presión y casa

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig.93. Proy. Quinuni. Equipo de generación de

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

El equipo de generación está compuesto por una turbina tipo Michell Banki con regulación de caudal por estrangulamiento del arco de admisión, un generador trifásico con escobillas de 40 KVA, 220/380 Volts., 1500 RPM. y un regulador de velocidad electrónico con disipación en tanque de resistencias. La transmisión de potencia se realiza mediante poleas y correas como se muestra en la fig. 93.

Entre la casa de máquinas y la población de Quinuni, se tendió una línea eléctrica de media tensión de 6900 V y 2.5 km de longitud. La red de distribución en baja tensión cubre toda la población incluyendo los edificios públicos como la escuela, el colegio, la posta sanitaria y la sede social.

Fig.94. Proyecto MCH Quinuni. Transformador de distribución en la población (izquierda), red de distribución (centro), colegio de la población (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Con la colaboración económica de Proagro GTZ y el Programa APC (Proyectos Comunitarios de Seguridad Humana) de la embajada de Japón se ejecutaron algunos proyectos como la Microcentral Hidroeléctrica Munaypata y la Microcentral Hidroeléctrica Copachullpa ubicados en la Provincia Inquisivi del Departamento de La Paz.

En la tabla Nº (2) se muestran algunos datos técnicos de todos los proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético, hasta principios del año 2012. La tabla detalla la ubicación de cada proyecto, los datos técnicos básicos de cada planta (potencia instalada, salto neto y caudal de equipamiento), la población beneficiada y la fuente de financiamiento, En la columna observaciones se especifica si el costo de la inversión incluye o no las redes eléctricas. También se detalla el año de ejecución de cada

proyecto que corresponde al año de su finalización y el estado actual de cada uno de ellos hasta principios del año 2012. De todos los proyectos enlistados, en cuatro solo se proveyó reguladores de velocidad electrónicos desarrollados en el ihh, seis se encuentran a nivel de diseño final y uno en construcción. Los restantes treinta fueron construidos y equipados por el Programa en la modalidad de autoconstrucción, modalidad que se explica en el inciso 4. El financiamiento provino de diversas instituciones y la participación de las comunidades involucradas fue fundamental ya que aportaron materiales locales como agregados, madera, postes, construyeron todas las obras civiles bajo dirección de los ingenieros del Programa y apoyaron con mano de obra en las instalaciones de equipos y redes eléctricas.

Tabla 2. Proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético ihh UMSA.

PROGRAMA HIDROENERGETICO, PROYECTOS REALIZADOS

N°	PROYECTOS	UBICACION	CAUDAL (l/m)	SALTO (m)	POTENCIA (kW)	POBLACION Benef. (flias.)	FINANCIAMIENTO	AÑO	Obs	ESTADO ACTUAL
1	San Pedro de Condo	Prov. Avaroa, Oruro	125	60	40	100	Embajada Francia	1988	Con redes	NO
2	Pongo I	Prov. Murillo, La Paz	14	60	6	JICA	JICA	1989		NO
3	**Irupampa	Prov. Zudañes, Chuq.			18	50		1989		SI
4	**Korimayu	Prov. Tiquipaya, Cbba.			8	25		1990		SI
5	**San Julian	Prov. Chapare, Cbba			5	18		1991		SI
6	Pongo II	Prov. Murillo, La Paz	28	50	9	20	FCIL Canada	1992		NO
7	Pongo III	Prov. Murillo, La Paz	12	85	7	DUERI	EMP. DUERI	1993		O
8	Choro	Prov. Caranavi, La Paz	50	50	16	70	FCIL Canada	1994	Con redes	O
9	*Asunta	Prov. Sud Yungas, La Paz	800	40	160	500	FONADAL	1995		O
10	Qeuiña Pampa	Prov. Carrasco, Cbba.	180	45	43	85	Embajada Holanda	1995		NO
11	Leque	Prov. Tapacarí, Cbba.	120	8	5	25	FCIL Canada	1996		SI
12	San Pedro	Prov. Caranavi, La Paz	25	120	20	60	PPD/PNUD	1997		O
13	Tumupasa	Prov. Iturralde, La Paz	100	52	33	131	UE	1998		O
14	Unduavi	Prov. N. Yungas, La Paz	180	13	13	62	FCIL Canada	1999		NO
15	Flor de Mayo	Prov. Sud Yungas, La Paz	30	60.6	12	48	PPD/PNUD	2001		O
16	Covendo	Prov. Sud Yungas, La Paz	250	14,5	20	45	FCIL Canada	2002	Sin redes	O
17	Taipiplaya	Prov. Caranavi, La Paz	25	133.4	21.2	67	PPD/PNUD	2002	Sin redes	NO
18	Camata	Prov. Muñecas, La Paz	30	141	27	110	PPD/PNUD	2003	Con redes	O
19	Charia	Prov. Sud Yungas, La Paz	53	59.2	20	120	PPD/PNUD	2004	Con redes	O
20	Agua Blanca	Prov. F. Tamayo, La Paz	30	175,2	30	88	PPD/PNUD	2005	Con redes	O
21	Calzada	Prov. Sud Yungas, La Paz	200	67,6	70	230	Com.Calzada	2005	Con redes	O
22	Chucura	Prov. Murillo, La Paz	40	83,7	21,3	60	BIAP/SERNAP	2005	Con redes	O
23	Poroma	Prov. Larecaja, La Paz	160	51.2	40	60	PPD/PNUD	2006	Con redes	O
24	Cooperativa 15 Agosto	Prov. Sud Yungas, La Paz	200	174,2	204	193	Coop. 15 de Ag.	2006	Con redes	DF
25	San José Acherales	Prov. Arce, Tarija	200	12.5	15	58	BIAP/SERNAP	2006	Con redes	O
26	Yanamayu	Prov. Sud Yungas, La Paz	423	13,7	30	120	PPD/PNUD	2007	Con redes	O
27	Volcán Blanco	Prov. Arce, Tarija	130	12,2	7,8	36	BIAP/SERNAP	2007	Sin redes	O
28	Totorapampa	Prov. Inquisivi, La Paz	310	173	341	729	G.M.Inquisivi	2007	Sin redes	DF
29	Munaypata	Prov. Inquisivi, La Paz	170	16,8	14	70	Proagro GTZ	2008	Sin redes	O
30	Nogalani	Prov. Sud Yungas, La Paz	130	56	36	80	PPD/PNUD	2009	Sin redes	O
31	Quinuni	Prov. Sud Yungas, La Paz	250	20,8	26	108	PNCC/VMEE	2010	Sin redes	O
32	Palmeras	Prov. Sud Yungas, La Paz	220	15,5	16.7	60	PNCC/VMEE	2010	Con redes	O
33	Sandillani	Prov. Nor Yungas, La Paz	20	60	7,6	25	PPD/PNUD	2010	Sin redes	O
34	Valle Hermoso	Prov. Inquisivi, La Paz	210	24	29,7	42	G.M.Inquisivi	2010	Sin redes	DF
35	Cerro Verde	Prov. Inquisivi, La Paz	50	57.3	18,2	32	G.M.Inquisivi	2010	Sin redes	DF
36	Eduardo Avaroa	Prov. Inquisivi, La Paz	170	96.8	105	174	G.M.Inquisivi	2010	Sin redes	DF
37	Siguani	Prov. Sud Yungas, La Paz	125	12,7	8,2	40	PPD/PNUD	2011	Sin redes	O
38	Copachullpa	Prov. Inquisivi, La Paz	148	20	18	40	Embajada Japón	2011	Con redes	O
39	Sayaroj	Prov. F. Tamayo La Paz	50	95	30	35	CIPLA Apolo	2012	Con redes	DF
40	Central Antofagasta	Prov. Caranavi, La Paz	50	174.2	51	357	Embajada Japón	2012	Con redes	EC
* Trabajos de corrección de obras hidráulicas ** Solo equipamiento										
O = Operando NO = No opera DF = Diseño final EC = En construcción SI = Sin información										

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

5. APLICACIONES PRODUCTIVAS.

En el área rural boliviana, principalmente en la zona andina, la población campesina que vive en pueblos nucleados tiene sus áreas de cultivo en los alrededores de estas poblaciones e incluso en zonas algo alejadas. Muchas veces cuentan con varias parcelas en diferentes localizaciones. Esta realidad obliga, principalmente a los padres de familia, a trasladarse diariamente a sus parcelas de cultivo acompañados por los hijos menores que no están en edad de asistir a la escuela, o en caso de que las parcelas se encuentren muy alejadas, a vivir durante la semana en estas, retornando a sus casas en el pueblo solo los fines de semana.

Hasta la actualidad, los proyectos de hidrogeneración en pequeña escala dirigidos a poblaciones rurales nucleadas o concentradas se han priorizado sobre los proyectos para comunidades dispersas, debido a que estos últimos demandan mayores inversiones económicas por lo extenso de las líneas eléctricas.

En Bolivia, la mayor parte de estos emprendimientos se realizan para poblaciones preferentemente nucleadas, esta es también la experiencia del Programa Hidroenergético.

Debido a que gran parte de la población campesina generalmente no permanece en sus domicilios durante el día, el consumo de energía es reducido, limitándose a algunas horas por la noche. En consecuencia, los factores de planta de las microcentrales en el área rural son bastante reducidos, es decir, la potencia consumida, en relación a la instalada es reducida.

En los últimos 25 años, la mayor parte de las microcentrales hidroeléctricas instaladas en el país, cuentan con reguladores electrónicos de velocidad que disipan la energía no consumida en un circuito secundario que generalmente es un tanque de resistencias eléctricas bajo agua o un calentador de aire. Normalmente las plantas trabajan generando una potencia relativamente fija. En consecuencia, toda la energía que no consume la población se desperdicia disipándose en calentamiento de agua o aire que raras veces se aprovecha debido a su intermitencia.

Con el fin de incrementar el consumo en las horas de reducido consumo, fundamentalmente durante el día, incrementar los factores de planta de las microcentrales y coadyuvar en la transformación de la producción local con el uso de la energía, el Programa Hidroenergético

Fig.85. Horno de secado de locoto (izquierda), molino de café y cereales (centro) del proyecto Camata

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

propuso asociar actividades productivas a los proyectos de consumo doméstico. De esta forma se instalaron deshidratadoras de frutas, centros de molienda de granos, prebeneficiadoras de café, peladoras de arroz, carpinterías, centros de computación y otras actividades que permitan dar valor agregado a la producción local y/o apoyar la educación y salud.

Todos los proyectos realizados por el Programa fueron construidos colectivamente por los comunarios que voluntariamente participaron en su ejecución, por lo que los productos obtenidos pasaron también a ser propiedad colectiva de las personas que aportaron con mano de obra y materiales locales. Esta forma de organización, trabajo y posterior gestión de los proyectos, ha funcionado satisfactoriamente para el componente de generación y venta de energía para consumo doméstico, pero ha tenido algunas dificultades y aciertos en el manejo de la parte productiva.

Fig.85. Peladora eléctrica de arroz y taller de tallados en madera (izquierda y centro), proyecto Poroma. Tanques eléctricos de lavado y teñido de lana (derecha), proyecto Agua Blanca.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Algunos aspectos por los que el componente de generación y venta de energía cuenta con sostenibilidad y éxito en el tiempo son los siguientes:

- La ejecución de los proyectos por “autoconstrucción” ha permitido a los beneficiarios participar en forma directa en la construcción de los proyectos, realizándolos con sus propias manos, lo que implica un conocimiento de todos los componentes y fases del proyecto y en la mayoría de los casos una plena apropiación del mismo.
- La generación y consumo doméstico de energía constituye un beneficio directo y palpable para cada familia. Permite elevar el nivel de vida y sustituir los energéticos tradicionales (querosén, velas, pilas secas) por energía eléctrica de alta calidad.
- La generación local por medio de microcentrales hidroeléctricas, es decir generación propia de energía, permite contar con tarifas al alcance de los beneficiarios y genera recursos mediante la aplicación de tarifas que se quedan en la zona, en forma de sueldos al personal local, fondo de ahorro o finalmente en forma de tarifas reducidas permitiendo ahorro a los usuarios. Esto no ocurre con la línea interconectada nacional ya que las tarifas que se recaudan se transfieren a otras regiones o a empresas privadas.
- En el caso de extensión de línea, la tarifa que aplica la empresa distribuidora al usuario conectado a la red en el área rural, es bastante elevada, generalmente el doble de la tarifa en áreas urbanas. Esto se debe a los altos costos de operación

y mantenimiento de las líneas de transmisión y distribución, pérdidas de energía en tramos largos de línea, costosas estaciones de transformación para cargas reducidas y costos administrativos elevados.

En el caso del componente productivo, es importante diferenciar los proyectos donde no existía ningún tipo de uso de energía en actividades de transformación de la producción u otro tipo de actividades, de los proyectos donde se realizaba alguna actividad productiva con el uso de energía producida con combustibles fósiles como gasolina o diesel, es el caso de molinos de cereales y despulpadoras de café que trabajaban con motores a gasolina. Es decir lugares donde no existía ninguna actividad de transformación de la producción y lugares donde ya se realizaba alguna transformación básica.

En los primeros, el Programa identificó las potencialidades de la zona en cuanto a producción agrícola y otras actividades donde se podía introducir el componente energético para ayudar en la transformación de la producción. Este es el caso de la planta de deshidratado de frutas y producción de café del proyecto Charía o la planta de secado de locoto y producción de café del proyecto Camata. Estos emprendimientos no dieron los resultados esperados por los siguientes aspectos:

- A diferencia del componente de consumo doméstico, las actividades de uso productivo de la energía, no tenían resultados inmediatos y tan palpables como este. El componente productivo demandaba la creación de una organización local exclusivamente dedicada a la labor productiva, independiente de la organización que manejaba la microcentral hidroeléctrica, que trabaje en forma comunal, dado que el equipamiento se había obtenido de esta forma, es decir que la inversión de capital de operación, el trabajo de producción y las ganancias debería repartirse equitativamente entre los socios que no necesariamente eran todos los participantes del proyecto inicial.
- El deshidratado de frutas, la producción de locoto seco en polvo y la producción de café tostado y molido, constituían actividades nuevas nunca realizadas en ambas comunidades. Estas actividades demandaban bastante empleo de tiempo y dedicación para adquirir las destrezas necesarias, que muchos de los comunarios no estaban dispuestos a emplear, posiblemente por la duda de un resultado incierto en el caso de Camata y debido a que desde el inicio no existía la voluntad de compartir esta actividad con el cultivo de coca en el caso de Charía.
- La comercialización de la producción requería, desde el inicio, de un estudio de mercado que permita establecer efectivamente los nichos de mercado a los que se podía acceder y los costos de comercialización requeridos.
- Las experiencias muestran que la creación y buen funcionamiento de empresas productivas comunales o colectivas no es una tarea sencilla, incluso contando con condiciones favorables como la de los proyectos anteriores, donde se contaba con equipamiento (hornos de secado, molinos, tostadoras de café, etc.) y energía prácticamente gratuita.

Los emprendimientos de uso de la energía generada por microcentrales hidroeléctricas para actividades productivas, en lugares donde ya se realizaban estas labores empleando

Fig.97. Molino de cereales, proyecto San José (izquierda), molino y despulpadora de café (centro y derecha), proyecto Nogalani.

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

otro tipo de energías o donde los comunarios transformaban la producción local en otros lugares donde contaban con energía, tuvieron mucho mayor éxito. Como ejemplo citaremos el caso del molino de cereales instalado en la comunidad de San José de Acherales que trabaja continuamente durante todo el año. De la peladora de arroz en la comunidad de Poroma que da servicios a toda la población y a las comunidades vecinas y de la prebeneficiadora de café de Nogalani donde se sustituyó el motor a gasolina de la despulpadora existente, por uno eléctrico y se instaló una tostadora de café y un molino que vienen trabajando regularmente.

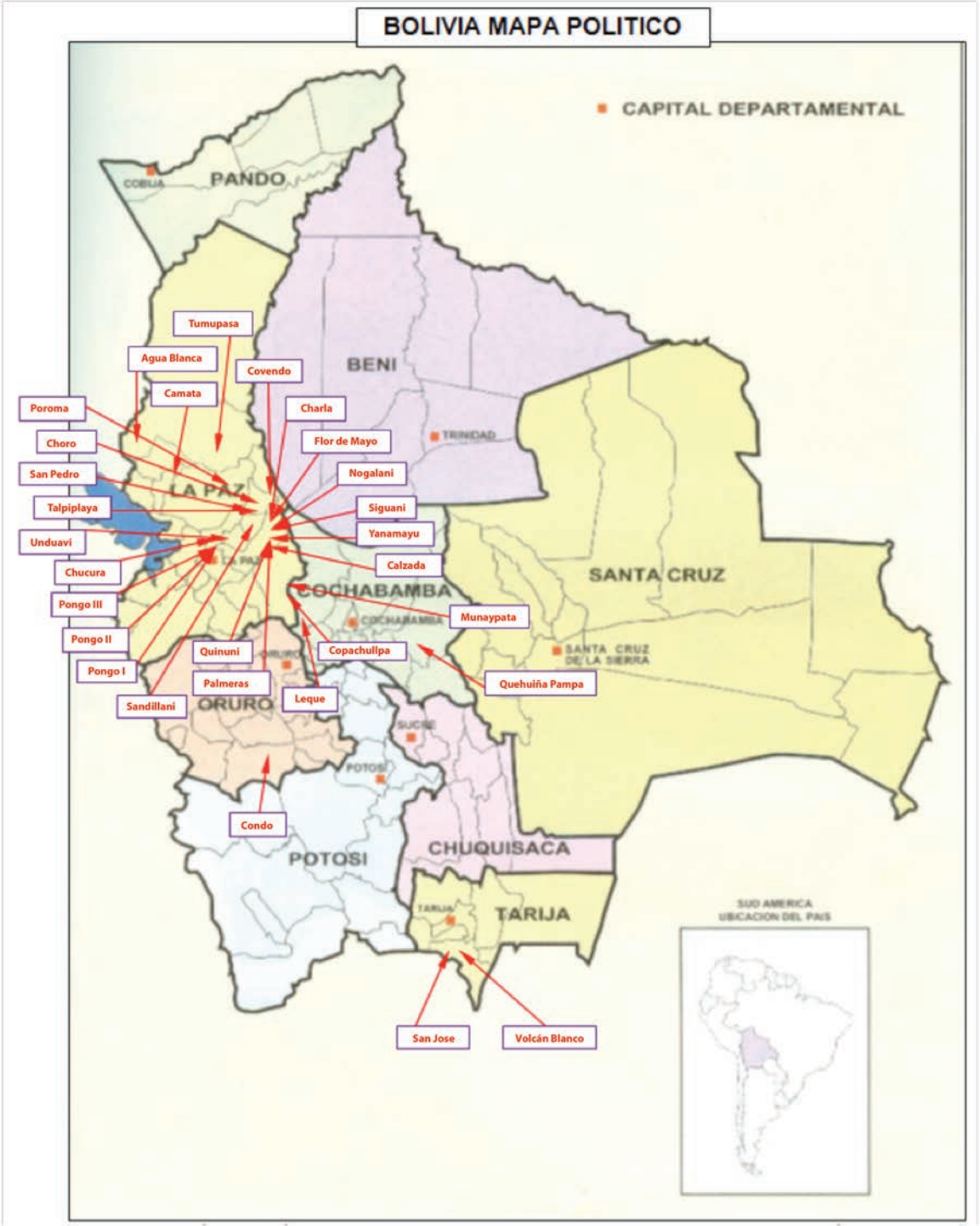
De estas experiencias, se pueden concluir los siguientes aspectos:

- Los proyectos productivos nuevos de transformación de la producción aplicando energía generada localmente, requieren una evaluación muy minuciosa para determinar su factibilidad y una vez implementados, seguimiento y apoyo permanentes durante un largo periodo de tiempo hasta su consolidación.
- La incorporación de energía a procesos que se realizaban en las comunidades, en forma manual o en lugares donde ya se contaba con energía, como el molido de cereales o el pelado de arroz, da buenos resultados y es sostenible en el tiempo.
- La sustitución de la energía, procedente de combustibles fósiles como la gasolina o el diesel, en aplicaciones productivas existentes como prebeneficiadoras de café, carpinterías, talleres de mecánica, etc. , por energía eléctrica generada localmente en microcentrales hidroeléctricas, es muy exitosa ya que permite utilizar la energía que se desaprovechaba, con los consiguientes ingresos económicos para la organización local gestora de la central y permite una reducción significativa de los gastos en energía de los usuarios de estas aplicaciones.

Fig.98. Taller de carpintería, proyecto Yanamayu (izquierda), sala de computación, proyecto Siguani (centro) y taller de soldadura, proyecto Agua Blanca (derecha).

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

Fig.99. Ubicación geográfica de los proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético.



Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA.

6. GESTION, ADMINISTRACION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.1. Gestión de los proyectos

Todos los proyectos ejecutados por el Programa Hidroenergético, una vez finalizados y puestos en marcha, fueron transferidos a una organización local conformada por todos los socios del proyecto, es decir a todos los comunarios que aportaron con la totalidad de los jornales de trabajo y los materiales locales requeridos para su ejecución hasta la finalización del mismo.

La participación de los comunarios en los proyectos es totalmente voluntaria. Generalmente existen algunas personas que se abstienen de participar por varias razones: escepticismo de los resultados del proyecto, permanencia irregular en la comunidad (población flotante), poca disponibilidad de tiempo debido a contar con extensas áreas cultivadas, poca voluntad de trabajo.

En los proyectos ejecutados, las personas de la comunidad que no participaban constituían un problema para la organización local una vez establecido el servicio eléctrico. En la mayoría de los casos, este problema se solucionó admitiendo a estas personas en calidad de usuarios, no socios, con una tarifa superior a la de estos. En otros casos se los admitió como socios pagando un monto equivalente a todos los jornales de trabajo empleados por los socios, las cuotas monetarias que estos aportaron y el valor de los materiales locales aportados.

Las organizaciones locales conformadas en las comunidades tienen como objetivo principal la gestión de los proyectos ejecutados durante su vida útil. A estas organizaciones se transfirieron los proyectos una vez finalizada su construcción y puesta en marcha. El Programa, dotó a estas organizaciones de modelos de reglamentos y estatutos que rigieran su vida institucional, estos modelos fueron discutidos y consensuados en asambleas generales de socios antes de su aprobación final.

En forma general, las organizaciones creadas están conformadas por las siguientes instancias:

La Asamblea de Socios.- La Asamblea de Socios se constituye en el órgano máximo autónomo de decisión sobre el funcionamiento de la microcentral hidroeléctrica construida por los socios y funciona independientemente de otras autoridades u organizaciones existentes en la comunidad. La Asamblea de Socios constituye el máximo poder de decisión sobre: fijación de tarifas, multas, trabajos comunales de reparación y mantenimiento, contratación de operadores, administración de tarifas e ingresos provenientes del sistema y cualquier decisión importante que compete a la microcentral hidroeléctrica. Las decisiones emanadas por la Asamblea de Socios son ejecutadas por “La Directiva”.

La Directiva.- Elegida por la Asamblea de Socios, “La Directiva” se constituye en el órgano ejecutor de las decisiones de esta referidas al funcionamiento de la microcentral hidroeléctrica. Funciona independientemente de otras autoridades u organizaciones

existentes en la comunidad. Su tarea principal es la administración del sistema hidroeléctrico y está compuesta por un Presidente, un Vicepresidente, un Tesorero, un Secretario de Actas y un Vocal, elegidos democráticamente.

El Operador.- El operador u operadores del sistema es, o son las personas encargadas de realizar la operación y mantenimiento de la microcentral hidroeléctrica. Esta, o estas personas son elegidas por la "La Asamblea de Socios" de entre los socios que han recibido adiestramiento en este sentido. El operador tiene la obligación de realizar diariamente la operación del sistema para lo cual ha sido entrenado y las tareas de mantenimiento rutinario del equipo de generación y de las obras civiles. En caso de que se presenten mantenimientos o reparaciones mayores que estén fuera de su alcance, dará parte a "La Directiva" para que este disponga apoyo de los socios para estas tareas o apoyo técnico externo.

La autogestión de los proyectos tiene las siguientes ventajas sobre una administración externa:

- Los costos administrativos son reducidos debido a que en general "La Directiva" trabaja ad honorem, renovándose normalmente en forma anual, esto es posible ya que sus componentes son comunarios que prestan este servicio por horas sin renunciar a sus trabajos agrícolas rutinarios. Una administración externa demandaría salarios que deberían ser cubiertos por las tarifas que se cobra por el servicio eléctrico.
- El operador u operadores del sistema son comunarios socios que han recibido capacitación para esta labor. Trabajan en forma horaria sin descuidar sus labores agrícolas rutinarias, ya que las plantas por su automatización requieren solo este tipo de atención. Reciben un salario consensuado con la comunidad acorde a la disponibilidad de recursos con que se cuenta proveniente del cobro de las tarifas de consumo eléctrico. Un operador externo demandaría un salario mucho mayor debido a que este trabajo constituiría su única ocupación y en consecuencia su único ingreso económico. Por otra parte, debido a que esta persona no proviene de la comunidad, regularmente se ausentaría dejando el sistema sin operador.
- La autogestión permite un control social interno y una fiscalización permanente por parte de la comunidad.
- Debido a que se trata de pequeños proyectos que no generan grandes recursos económicos provenientes del cobro de tarifas, la gestión externa resulta inviable ya que demandaría costos elevados por este concepto, las tarifas para cubrir este servicio se incrementarían a niveles prohibitivos no permitiendo ahorro interno y ventajas para los consumidores como con la auto gestión.

6.2. Aspectos administrativos

En todos los proyectos ejecutados por el Programa, se ha implementado el modelo de gestión explicado anteriormente, con diferentes características y matices particulares de cada comunidad.

Un aspecto fundamental para el funcionamiento del proyecto, constituye la fijación de una tarifa que permita cubrir todos los costos de operación del sistema permitiendo su sostenibilidad en el tiempo. Esta tarifa, en todos los casos, se ha estructurado considerando los siguientes componentes:

1. Costo de personal.- Este costo se reduce al salario del operador u operadores. Se fija de acuerdo al costo de los jornales de trabajo que se paga en la región, considerando que normalmente es una labor horaria que no insume una jornada completa de trabajo.
2. Costo de mantenimiento y administración.- Se considera el costo de algunos insumos como por ejemplo grasas para rodamientos, carbones para el generador, material de escritorio, pasajes y viáticos para compras en la ciudad.
3. Costo de mantenimientos mayores.- Se considera un monto fijo mensual para casos de mantenimientos mayores no frecuentes, como reparación de obras civiles, reparación de equipos electromecánicos, es decir turbina, generador o gobernador electrónico, reparación de líneas eléctricas, y reposición de equipos.

Entre los proyectos ejecutados, en general se pueden caracterizar a tres grupos de acuerdo al comportamiento administrativo adoptado, principalmente con relación al manejo de las tarifas.

El primer grupo está compuesto por las centrales donde se han adoptado tarifas relativamente elevadas, cercanas a las cobradas por la red eléctrica nacional en el área rural, es decir entre 10 y 15 $us/mes. Estas tarifas han permitido cubrir todos los costos de operación del sistema, es decir: pago del salario del operador, costo de los insumos de operación, mantenimiento y administración y fondo de reserva para mantenimientos mayores y además han generado recursos de ahorro que han permitido la capitalización de la organización local. Estos recursos generalmente se han reinvertido en la ampliación del sistema o de la cobertura, ampliando las redes eléctricas y en algunas centrales, en otras actividades económicas como el fondo de préstamos de libre disponibilidad para socios del proyecto Choro. Esta situación se ha dado en proyectos ubicados en regiones donde la población campesina cuenta con ingresos económicos mayores que en otras regiones, principalmente en zonas cocaleras de los Yungas de La Paz.

En el segundo grupo de proyectos, se han adoptado tarifas menores, entre 2 y 5 $us/mes. Estos ingresos, normalmente han cubierto los costos de operación y mantenimiento del sistema y del fondo de reserva para mantenimientos mayores, pero en la mayoría de los casos no han generado recursos adicionales que permitan capitalizar a las organizaciones locales. Estos proyectos y los anteriores son totalmente autosostenibles y constituyen la mayor parte de los ejecutados.

En algunos casos, por voluntad de los socios, se ha decidido pagar una tarifa muy baja, aproximadamente 1 $us/mes. que cubra únicamente los gastos de operación y mantenimiento indispensables como la grasa para rodamientos y los carbones en

los generadores a escobillas. En estos casos, la operación del sistema se realiza ad honorem y el cargo de operador lo ejercen todos los socios por turnos que duran diferentes periodos, entre una semana hasta algunos meses. Esta forma de operar no permite contar con un fondo para mantenimientos mayores ni generar recursos que capitalicen la organización local. En caso de mantenimientos mayores, como por ejemplo reparación de obras civiles, reparación de partes del equipo de generación como la turbina, el generador o el gobernador electrónico, los socios aportaban una cuota extraordinaria o recurrían a sus gobiernos municipales, estas gestiones muchas veces demoraban, lo que obligaba a la paralización temporal del sistema. En todo caso, esta manera de operar, permitía un ahorro para los usuarios originado en las tarifas reducidas.

6.3. Operación y mantenimiento

La buena operación y mantenimiento de las plantas hidroeléctricas constituye un factor esencial para la sostenibilidad de estos proyectos. En las pequeñas centrales hidroeléctricas, donde esta labor la realizan operadores locales, la capacitación de este personal es un aspecto fundamental del que depende el éxito o fracaso del emprendimiento.

En este sentido, se ha estructurado un curso de capacitación para operadores de microcentrales hidroeléctricas fruto de la experiencia en la realización de muchos proyectos de este tipo y que, entre otros factores, considera el nivel educativo de los pobladores del área rural boliviana.

El curso explica los aspectos teóricos fundamentales pero prioriza la parte práctica implementando prácticas de operación y mantenimiento principalmente de los equipos de generación, realizadas en las plantas ya concluidas,. Este enfoque teórico - práctico es muy importante teniendo en cuenta los escasos conocimientos, básicamente sobre electricidad que normalmente tienen los comunarios.

El programa general del curso se desarrolla de acuerdo a la programación adjunta.

El primer punto trata sobre el mantenimiento de obras civiles, equipos y líneas eléctricas. La parte de mantenimiento del equipo de generación: turbina hidráulica, generador eléctrico y regulador de velocidad, como ya se indicó anteriormente, se realiza en forma teórico - práctica en la casa de máquinas del proyecto y con los equipos del proyecto. Una capacitación en este sentido se desarrolla también cuando se realiza la instalación del equipo de generación en la casa de máquinas que normalmente se ejecuta conjuntamente con las personas previamente nombradas como operadores.

En forma similar, en la parte de operación, las tareas de arranque del equipo, operación regular y parada se ejecutan con los equipos, en la casa de máquinas del proyecto en cuestión.

Curso de operación mantenimiento y administración
Microcentral hidroeléctrica

Programa general

1. Mantenimiento.

1.1 Mantenimiento obra de toma
1.2 Mantenimiento tubería de aducción
1.3 Mantenimiento desarenador - cámara de carga
1.4 Mantenimiento tubería de presión
1.5 Mantenimiento casa de máquinas - canal de restitución
1.6 Mantenimiento equipo de generación hidroeléctrica
1.6.1 Mantenimiento turbina hidráulica (clases teóricas y prácticas)
1.6.2 Mantenimiento generador eléctrico (clases teóricas y prácticas)
1.6.3 Mantenimiento regulador de velocidad (clases teóricas y prácticas)
1.7 Mantenimiento líneas eléctricas

2. Operación

2.1 Operación obra de toma
2.2 Operación tubería de aducción
2.3 Operación desarenador - cámara de carga
2.4 Operación equipo de generación hidroeléctrica
2.4.1 Turbina hidráulica
2.4.2 Generador eléctrico
2.4.3 Regulador de velocidad y tablero de control
2.5 Práctica de campo de operación de obras civiles
2.6 Práctica en casa de máquinas de operación de equipo de generación

3. Administración

3.1 Contabilidad básica
3.1.1 Ficha personal del socio
3.1.2 Ficha de control diario
3.1.3 Ficha de control anual
3.2 Estatutos y reglamentos del Comité de Electrificación
3.3 Fijación de tarifas

Normalmente, las fallas más frecuentes que se producen en las pequeñas plantas están relacionadas con la parte eléctrica y de regulación de velocidad. Es frecuente la quema de resistencias eléctricas del tanque disipador de energía del regulador de velocidad, esto genera muchas veces oscilaciones en la frecuencia y voltaje de la energía producida, en consecuencia es necesario instruir a los operadores para detectar con un voltímetro esta falla y el reemplazo correspondiente.

En los generadores con escobillas, es frecuente la deposición de sales en las pistas de contacto con los carbones, lo que ocasiona mal contacto e incluso interrumpe la generación. Otro problema es la interrupción de la generación por quema de diodos

del generador muchas veces ocasionados por descargas atmosféricas. Este tipo de fallas son descritas y planteadas las soluciones, realizando prácticas in situ de detección de falla y corrección.

La última parte trata de aspectos administrativos. Se imparten nociones básicas de administración. Se proporciona un modelo de ficha personal de cada socio donde se realiza el control de pagos por servicio de energía mensual durante un año y se asientan otros pagos como las multas. En una ficha de control diario se asientan los ingresos y egresos de la organización y en una ficha anual se realiza el balance general anual.

Se discute y aprueba el Estatuto y Reglamento de la organización, en base a un modelo planteado por el Programa, consensuándose todos los capítulos y artículos en concordancia con las costumbres y realidades de la comunidad. Algunas veces este punto requiere discusión y tiempo para su aprobación por lo que se realiza en varias reuniones posteriores al curso.

Fig. 100. Proy. Charía. Curso de capacitación

Fuente: Prog. Hidroener. ihh. UMSA.

Por último se realiza la fijación de tarifas teniendo en cuenta los costos de administración, operación y mantenimiento descritos anteriormente, el costo de los jornales en la localidad y la capacidad de pago de la comunidad.

En los proyectos donde no se cuenta con medidores de energía en las casas, se adopta una tarifa fija para consumo doméstico, que generalmente se
las familias que poseen refrigeradores o heladeras. En los que se cuenta con medidores, se fija una tarifa básica fija y un costo para el kW/hora consumido, registrado por el medidor de energía.

7. ASPECTOS ECONÓMICOS

Como se muestra en la tabla Nº 2 el Programa ha intervenido en la realización de 40 proyectos de hidrogeneración en pequeña escala en diferentes comunidades del país, treinta de los cuales han sido construidos y equipados empleando la tecnología desarrollada.

En la tabla Nº 3 se muestran los costos de inversión de los proyectos ejecutados en la modalidad de autoconstrucción, estos costos corresponden al año de su ejecución y han sido expresados en bolivianos y dólares americanos. Un dato importante es el costo unitario de cada planta, es decir el costo por kW instalado.

Tabla 3. Costos de los proyectos ejecutados.

N°	PROYECTOS	UBICACION	POTENCIA (kW)	POBLACION Benef. (flias.)	FINANCIAMIENTO	COSTO (Bs.)	COSTO ($us.)	COSTO. UNIT ($us./kW)	AÑO	OBS.	ESTADO ACTUAL
1	San Pedro de Condo	Prov. Avaroa, Oruro	40	100	Embajada Francia		73,867.0	1,846.7	1988	Con redes	NO
2	Pongo I	Prov. Murillo, La Paz	6	JICA	JICA				1989		NO
3	**Irupampa	Prov. Zudañes, Chuq.	18	50					1989		SI
4	**Korimayu	Prov. Tiquipaya, Cbba.	8	25					1990		SI
5	**San Julian	Prov. Chapare, Cbba	5	18					1991		SI
6	Pongo II	Prov. Murillo, La Paz	9	20	FCIL Canada				1992		NO
7	Pongo III	Prov. Murillo, La Paz	7	DUERI	EMP. DUERI				1993		O
8	Choro	Prov. Caranavi, La Paz	16	70	FCIL Canada	266,250.0	35,500.0	2,218.8	1994	Con redes	O
9	*Asunta	Prov. S.Yungas, La Paz	160	500	FONADAL				1995		O
10	Qeuiña Pampa	Prov. Carrasco, Cbba.	43	85	Embajada Holanda				1995		NO
11	Leque	Prov. Tapacarí, Cbba.	5	25	FCIL Canada				1996		SI
12	San Pedro	Prov. Caranavi, La Paz	20	60	PPD/PNUD				1997		O
13	Tumupasa	Prov. Iturralde, La Paz	33	131	UE				1998		O
14	Unduavi	Prov. N. Yungas, La Paz	13	62	FCIL Canada				1999		NO
15	Flor de Mayo	Prov. S. Yungas, La Paz	12	48	PPD/PNUD				2001		O
16	Covendo	Prov. S. Yungas, La Paz	20	45	FCIL Canada	212,961.0	27,302.7	1,365.1	2002	Sin redes	O
17	Taipiplaya	Prov. Caranavi, La Paz	21.2	67	PPD/PNUD	238,062.0	30,520.0	1,439.6	2002	Sin redes	NO
18	Camata	Prov. Muñecas, La Paz	27	110	PPD/PNUD	243,873.3	33,407.3	1,237.3	2003	Con redes	O
19	Charia	Prov. S. Yungas, La Paz	20	120	PPD/PNUD	231,060.0	28,882.5	1,444.1	2004	Con redes	O
20	Agua Blanca	Prov. F. Tamayo, La Paz	30	88	PPD/PNUD	244,900.0	30,612.5	1,020.4	2005	Con redes	O
21	Calzada	Prov. S. Yungas, La Paz	70	230	Com.Calzada	608,000.0	76,000.0	1,085.7	2005	Con redes	O
22	Chucura	Prov. Murillo, La Paz	21.3	60	BIAP/SERNAP	426,452.9	53,306.6	2,502.7	2005	Con redes	O
23	Poroma	Prov. Larecaja, La Paz	40	60	PPD/PNUD	362,644.8	45,330.6	1,133.3	2006	Con redes	O
24	Coop. 15 Agosto	Prov. S. Yungas, La Paz	204	193	Coop. 15 de Ag.	780,480.0	97,560.0	478.2	2006	Con redes	DF
25	San José Acherales	Prov. Arce, Tarija	15	58	BIAP/SERNAP	347,130.0	43,391.3	2,892.8	2006	Con redes	O
26	Yanamayu	Prov. S.Yungas, La Paz	30	120	PPD/PNUD	2,481,656.6	31,897.9	1,063.3	2007	Con redes	O
27	Volcán Blanco	Prov. Arce, Tarija	7.8	36	BIAP/SERNAP	245,000.0	31,410.3	4,027.0	2007	Sin redes	O
28	Totorapampa	Prov. Inquisivi, La Paz	341	729	G.M.Inquisivi	2,440,020.0	312,823.1	917.4	2007	Sin redes	DF
29	Munaypata	Prov. Inquisivi, La Paz	14	70	Proagro GTZ	199,598.0	27,342.2	1,953.0	2008	Sin redes	O
30	Nogalani	Prov. . Yungas, La Paz	36	80	PPD/PNUD	510,893.0	72,984.7	2,027.4	2009	Sin redes	O
31	Quinuni	Prov. S. Yungas, La Paz	26	108	PNCC/VMEE	402,702.0	57,528.9	2,212.6	2010	Sin redes	O
32	Palmeras	Prov. S. Yungas, La Paz	16.7	60	PNCC/VMEE	335,723.3	47,960.5	2,871.9	2010	Con redes	O
33	Sandillani	Prov. N. Yungas, La Paz	7.6	25	PPD/PNUD	72,000.0	10,285.7	1,353.4	2010	Sin redes	O
34	Valle Hermoso	Prov. Inquisivi, La Paz	29.7	42	G.M.Inquisivi	256,970.0	36,710.0	1,236.0	2010	Sin redes	DF
35	Cerro Verde	Prov. Inquisivi, La Paz	18.2	32	G.M.Inquisivi	253,700.0	36,242.9	1,991.4	2010	Sin redes	DF
36	Eduardo Avaroa	Prov. Inquisivi, La Paz	105	174	G.M.Inquisivi	598,338.0	85,476.9	814.1	2010	Sin redes	DF
37	Siguani	Prov. S. Yungas, La Paz	8.2	40	PPD/PNUD	351,227.0	50,175.3	6,118.9	2011	Sin redes	O
38	Copachullpa	Prov. Inquisivi, La Paz	18	40	Embajada Japón	290,647.7	41,521.1	2,306.7	2011	Con redes	O
39	Sayaroj	Prov. F. Tamayo La Paz	30	35	CIPLA Apolo	350,000.0	50,000.0	1,666.7	2012	Con redes	DF
40	Central Antofag.	Prov. Caranavi, La Paz	51	357	Embajada Japón	581,160.0	83,022.9	1,627.9	2012	Con redes	EC
* Trabajos de corrección de obras hidráulicas ** Solo equipamiento											
O = Operando NO = No opera DF = Diseño final EC = En construcción SI = Sin información											

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Es importante recalcar que los costos de inversión en las plantas se reducen a los siguientes componentes:

1. Costo de materiales e insumos externos (cemento, tuberías, calamina, etc.) es decir todos los materiales que no existan en el lugar.
2. Costo de equipos e instalaciones (equipo de generación, materiales para redes eléctricas, etc.)
3. Costos de transporte. Es decir el costo de transporte de materiales y equipos desde las ciudades hasta el sitio de ubicación del proyecto.
4. Costos de logística. Se refiere al costo de movilización y viáticos del personal del Programa hasta la localización del proyecto, cubre los costos de todos los viajes de asesoramiento técnico que se realizan hasta la conclusión del proyecto.

5. Costo de mano de obra calificada. Cubre el costo de un maestro albañil que realiza labores de director de obra e interactúa permanentemente con los ingenieros del Programa.

No se consideran los siguientes costos:

1. Costo de materiales locales (agregados: arena, grava, piedra, madera para encofrados si existe, postes si existen) que son aportados sin costo para el proyecto por las comunidades.
2. Mano de obra no calificada (peones y ayudantes) que son aportados sin costo para el proyecto por las comunidades.
3. Costo de preinversión en el diseño de los proyectos. Es aportado por el Programa Hidroenergético.
4. Salarios de los ingenieros. Se refiere al salario de los ingenieros del Programa Hidroenergético que realizan todas las labores de asesoramiento supervisión y seguimiento técnico durante la construcción de los proyectos. Es un aporte del ihh - UMSA.
5. Beneficios sociales, gastos generales, utilidades, impuestos (IVA, OIT) que incluyen las empresas constructoras en los presupuestos para los casos de licitación y adjudicación de los proyectos.

En muchos de los proyectos se han incorporado aplicaciones productivas adicionales a la central hidroeléctrica. Se han instalado molinos de granos, talleres de carpintería, peladoras de arroz, hornos de secado, etc., como se describe en el capítulo 5. El costo de estos elementos no se incluye en los presupuestos de inversión de la Tabla 3., solo figuran los costos de inversión en las micro plantas hidroeléctricas, ejecutadas en la modalidad de autoconstrucción.

Es importante también considerar que en doce de los proyectos construidos o diseñados, las redes eléctricas fueron instaladas posteriormente o no se consideraron en el diseño final por lo cual no se conoce el costo de estos componentes, esto se indica en la columna de observaciones en las tablas correspondientes.

Tabla 4. Costos de los proyectos sin redes eléctricas.

N°	PROYECTOS	UBICACION	POTENCIA (Kw)	POBLACION Benef. (flias.)	FINANCIAMIENTO	COSTO (Bs.)	COSTO ($us)	COSTO. UNIT ($us./kW)	AÑO	OBS.	ESTADO ACTUAL
1	Covendo	Prov. S. Yungas, La Paz	20	45	FCIL Canada	212,961.0	27,302.70	1,365.1	2002	Sin redes	O
2	Taipiplaya	Prov. Caranavi, La Paz	21.2	67	PPD/PNUD	238,062.0	30,520.00	1,439.6	2002	Sin redes	NO
3	Volcán Blanco	Prov. Arce, Tarija	7.8	36	BIAP/SERNAP	245,000.0	31,410.25	4,027.0	2007	Sin redes	O
4	Totorapampa	Prov. Inquisivi, La Paz	341	729	G.M.Inquisivi	2,440,020.0	312,823.08	917.4	2007	Sin redes	DF
5	Munaypata	Prov. Inquisivi, La Paz	14	70	Proagro GTZ	199,598.0	27,342.19	1,953.0	2008	Sin redes	O
6	Nogalani	Prov. S. Yungas, La Paz	36	80	PPD/PNUD	510,893.0	72,984.71	2,027.4	2009	Sin redes	O
7	Quinuni	Prov. S. Yungas, La Paz	26	108	PNCC/VMEE	402,702.0	57,528.86	2,212.6	2010	Sin redes	O
8	Sandillani	Prov. N. Yungas, La Paz	7.6	25	PPD/PNUD	72,000.0	10,285.71	1,353.4	2010	Sin redes	O
9	Valle Hermoso	Prov. Inquisivi, La Paz	29.7	42	G.M.Inquisivi	256,970.0	36,710.00	1,236.0	2010	Sin redes	DF
10	Cerro Verde	Prov. Inquisivi, La Paz	18.2	32	G.M.Inquisivi	253,700.0	36,242.86	1,991.4	2010	Sin redes	DF
11	Eduardo Avaroa	Prov. Inquisivi, La Paz	105	174	G.M.Inquisivi	598,338.0	85,476.86	814.1	2010	Sin redes	DF
12	Siguani	Prov. S. Yungas, La Paz	8.2	40	PPD/PNUD	351,227.0	50,175.29	6,118.9	2011	Sin redes	O
O = Operando NO = No opera DF = Diseño final EC = En construcción SI = Sin información											

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En la tabla 4 se observan los proyectos donde solo se consigna el costo de la planta hidroeléctrica, es decir obras civiles y equipo de generación sin redes eléctricas.

Los proyectos donde se cuenta con los costos generales incluidas las redes eléctricas, se muestran en la tabla 5. En general se trata de líneas de transmisión eléctrica de poca longitud para poblaciones nucleadas pequeñas, en muchos casos solo en baja tensión, cuando la casa de máquinas se encuentra cerca de la población.

Tabla 5.. Costos de los proyectos con redes eléctricas

N°	PROYECTO	UBICACION	POTENCIA (Kw)	POBLACION Benef. (flias.)	FINANCIAMIENTO	COSTO (Bs.)	COSTO ($us.)	COSTO. UNIT ($us./kW)	AÑO	OBS.	ESTADO ACTUAL
1	San José Acherales	Prov. Arce, Tarija	15	58	BIAP/SERNAP	347,130.0	43,391.3	2,892.8	2006	Con redes	O
2	Choro	Prov. Caranavi, La Paz	16	70	FCIL Canada	266,250.0	35,500.0	2,218.8	1994	Con redes	O
3	Palmeras	Prov. Sud Yungas, La Paz	16.7	60	PNCC/VMEE	335,723.3	47,960.5	2,871.9	2010	Con redes	O
4	Copachullpa	Prov. Inquisivi, La Paz	18	40	Embajada Japón	290,647.7	41,521.1	2,306.7	2011	Con redes	O
5	Charia	Prov. Sud Yungas, La Paz	20	120	PPD/PNUD	231,060.0	28,882.5	1,444.1	2004	Con redes	O
6	Chucura	Prov. Murillo, La Paz	21.3	60	BIAP/SERNAP	426,452.9	53,306.6	2,502.6	2005	Con redes	O
7	Camata	Prov. Muñecas, La Paz	27	110	PPD/PNUD	243,873.3	33,407.3	1,237.3	2003	Con redes	O
8	Agua Blanca	Prov. F. Tamayo, La Paz	30	88	PPD/PNUD	244,900.0	30,612.5	1,020.4	2005	Con redes	O
9	Yanamayu	Prov. Sud Yungas, La Paz	30	120	PPD/PNUD	248,803.6	31,897.9	1,063.3	2007	Con redes	O
10	Sayaroj	Prov. F. Tamayo La Paz	30	35	CIPLA Apolo	350,000.0	50,000.0	1,666.7	2012	Con redes	DF
11	San Pedro de Condo	Prov. Avaroa, Oruro	40	100	Embajada Francia		73,867.0	1,846.7	1988	Con redes	NO
12	Poroma	Prov. Larecaja, La Paz	40	60	PPD/PNUD	362,644.8	45,330.6	1,133.3	2006	Con redes	O
13	Central Antofagasta	Prov. Caranavi, La Paz	51	357	Embajada Japón	581,160.0	83,022.9	1,627.9	2012	Con redes	EC
14	Calzada	Prov. Sud Yungas, La Paz	70	230	Com.Calzada	608,000.0	76,000.0	1,085.7	2005	Con redes	O
15	Cooperativa 15 Agosto	Prov. Sud Yungas, La Paz	204	193	Coop. 15 de Ag.	780,480.0	97,560.0	478.2	2006	Con redes	DF
O = Operando NO = No opera DF = Diseño final EC = En construcción SI = Sin información											

Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

Del análisis de datos de la tabla 5, se puede establecer que el costo unitario medio de las microcentrales hidroeléctricas construidas en la modalidad de autoconstrucción es de 1.693 $us/kW.

Tabla 6. Costos porcomponentes de los proyectos con redes eléctricas

N°	PROYECTOS	UBICACION	POTENCIA (Kw)	COSTO OBRAS Civiles ($us.)	COSTO EQUIPO GENERACION ($us.)	COSTO REDES ($us.)	COSTO TOTAL ($us.)	COSTO UNITARIO ($us.)	AÑO	OBS.	ESTADO ACTUAL
1	San José Acherales	Prov. Arce, Tarija	15	26,891.25	12,500.00	4,000.0	43,391.25	2,892.8	2006	Con redes	O
2	Choro	Prov. Caranavi, La Paz	16	12,050.00	12,000.00	11,450.0	35,500.00	2,218.8	1994	Con redes	O
3	Palmeras	Prov. Sud Yungas, La Paz	16.7	15,890.47	12,500.00	19,570.0	47,960.47	2,871.9	2010	Con redes	O
4	Copachullpa	Prov. Inquisivi, La Paz	18	17,673.20	14,311.50	9,536.4	41,521.10	2,306.7	2011	Con redes	O
5	Charia	Prov. Sud Yungas, La Paz	20	12,820.00	11,687.50	4,375.0	28,882.50	1,444.1	2004	Con redes	O
6	Chucura	Prov. Murillo, La Paz	21,3	24,542.77	18,000.00	10,763.8	53,306.61	2,502.7	2005	Con redes	O
7	Camata	Prov. Muñecas, La Paz	27	10,831.95	11,095.90	11,479.5	33,407.30	1,237.3	2003	Con redes	O
8	Agua Blanca	Prov. F. Tamayo, La Paz	30	13,112.50	13,125.00	4,375.0	30,612.50	1,020.4	2005	Con redes	O
9	Yanamayu	Prov. Sud Yungas, La Paz	30	13,821.00	16,025.60	2,051.3	31,897.90	1,063.3	2007	Con redes	O
10	Sayaroj	Prov. F. Tamayo La Paz	30	16,550.00	22,000.00	11,450.0	50,000.00	1,666.7	2012	Con redes	DF
11	San Pedro de Condo	Prov. Avaroa, Oruro	40	33,392.00	16,600.00	23,875.0	73,867.00	1,846.7	1988	Con redes	NO
12	Poroma	Prov. Larecaja, La Paz	40	17,876.97	18,950.00	8,503.6	45,330.60	1,133.3	2006	Con redes	O
13	Central Antofagasta	Prov. Caranavi, La Paz	51	16,880.00	35,000.00	31,142.9	83,022.86	1,627.9	2012	Con redes	EC
14	Calzada	Prov. Sud Yungas, La Paz	70	11,500.00	27,000.00	37,500.0	76,000.00	1,085.7	2005	Con redes	O
15	Cooperativa 15 Agosto	Prov. Sud Yungas, La Paz	204	23,476.00	45,000.00	29,084.0	97,560.00	478.2	2006	Con redes	DF
O = Operando NO = No opera DF = Diseño final EC = En construcción SI = Sin información											

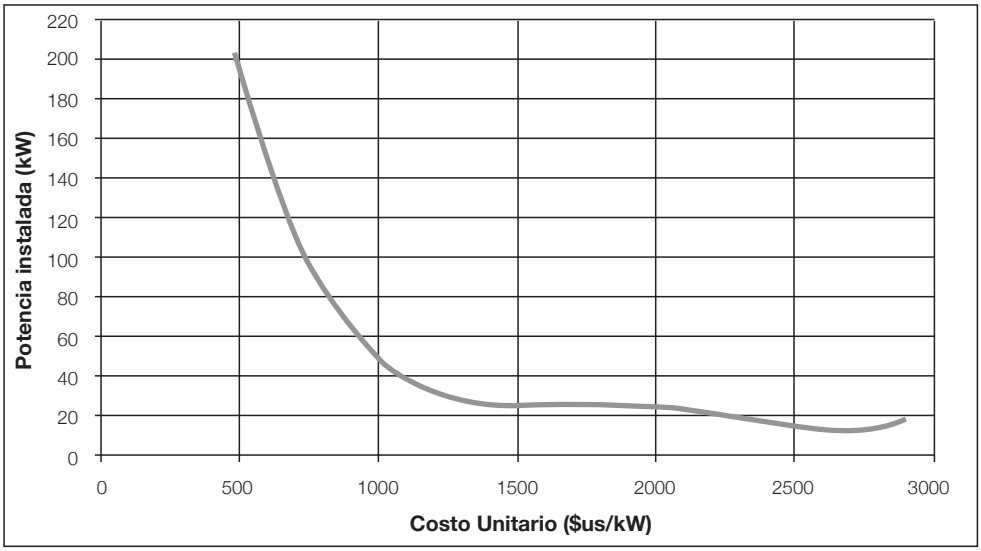
Fuente: Prog. Hidroener., ihh UMSA

En la tabla 6 se consigna los costos de los proyectos por componentes. Se considera tres componentes fundamentales: costo de obras civiles, costo de equipo de generación y costo de redes eléctricas.

Del análisis de los datos de esta tabla, se puede concluir:

- El costo unitario medio de los equipos de generación completos, fabricados localmente con tecnología desarrollada por el Programa Hidroenergético, (turbina hidráulica Pelton o Banki, generador eléctrico importado y regulador de velocidad electrónico) es de 590 $us/kW.
- Las obras civiles representan un porcentaje medio del costo total de 37%.
- Al igual que las obras civiles, el equipo de generación representa un porcentaje medio del costo total de 37%.
- Las líneas eléctricas representan un porcentaje medio del costo total de 26 %.

Fig 101. Potencia instalada y costo unitario de proyectos con redes eléctricas.



Fuente: Prog.Hidroener., ihh UMSA

La fig (101) representa la curva potencia instalada versus costos unitarios. La línea de tendencia nos muestra claramente que los costos unitarios son más elevados a medida que la potencia instalada es menor. Esta tendencia es normal en este tipo de proyectos, por lo que no es válido extrapolar costos a partir de costos conocidos de centrales existentes.

8. IMPACTOS

Los resultados del impacto de los proyectos, se basan en el proyecto de grado: “Estudio sobre el impacto social, económico y ambiental de microcentrales hidroeléctricas implantadas en comunidades aisladas de Bolivia” (2) desarrollado por Andrés Hueso Gonzales de la Universidad Politécnica de Valencia, España, Escuela Técnica Superior

de Ingenieros Industriales, bajo convenio con el Instituto de Hidráulica e Hidrología, UMSA. Este trabajo constituye una evaluación externa de varios proyectos ejecutados por el Programa, cuyos resultados han sido extendidos al total de proyectos ejecutados.

El proyecto de grado de referencia, adoptó el "Diseño de Evaluación D", propuesto en el Manual del Banco Mundial: "Realización de evaluaciones de impacto de calidad con limitaciones de presupuesto, tiempo e información", que básicamente considera un grupo de beneficiarios y un grupo de comparación, cuya situación se analiza con posterioridad a la intervención y cuya hipótesis considera que cualquier diferencia observada entre los grupos a ser analizados se debe a los efectos del proyecto y no a diferencias despreciadas o no detectadas entre ambos grupos antes de la intervención.

El estudio se realizó el año 2007, en los proyectos: Agua Blanca, Prov. Franz Tamayo, La Paz; Charía, Prov. Sud Yungas, La Paz; Flor de Mayo, Prov. Sud Yungas, La Paz; Calzada, Prov. Sud Yungas, La Paz; Choro, Prov. Nor Yungas, La Paz; Chucura,Prov. Nor Yungas, La Paz; Samañapampa, Prov. Nor Yungas, La Paz; y Challapampa, Prov. Nor Yungas, La Paz; los seis primeros ejecutados por el Programa Hidroenergético.

8.1. Impacto económico

En síntesis, se identificaron los siguientes impactos económicos en la población beneficiaria:

- Reducción del 54% como promedio de los gastos mensuales familiares en energéticos originada por la sustitución de energéticos tradicionales (velas, querosén, GLP y pilas) por energía eléctrica generada por las plantas. Al año 2007 representaba un promedio de 49 Bs/familia/mes, es decir al cambio de ese tiempo, 6,3 $us/familia/mes.
- Creación de un puesto de trabajo en la mayoría de los casos y dos en algunos como operador de la planta. Los sueldos de este personal, dependiendo del lugar y la capacidad de pago de cada comunidad, varía entre 150 Bs. (21,4 $us al cambio actual) y 600 Bs. (85,7 $us al cambio actual) por un trabajo a horario parcial (entre 1 a 3 horas/día).
- El gasto medio ponderado en electricidad por familia y por mes era de 30 Bs. en 2007 (de acuerdo con sondeos recientes esta tarifa se mantiene en la actualidad), 4,3 $us al cambio actual. Esta tarifa es inferior en todos los casos a la tarifa media del Sistema Interconectado nacional. Los sistemas tarifarios que se utilizan son diversos, algunos proporcionales al consumo, los que cuentan con medidores y otros monto fijo. La tarifa se diferencia siempre entre socios y usuarios, pagando estos últimos una tarifa mayor.
- La percepción de la población en los proyectos encuestados, da como resultado a un 40 % como promedio de los socios que perciben un ahorro considerable con la implementación de los proyectos y un 30% que percibe algo de ahorro. Es interesante la opinión de los usuarios, que aunque pagan mayores tarifas que los socios, en un 20% de los encuestados como promedio perciben un ahorro considerable y algo de ahorro en un 40%.

- Cuando se instala el Sistema Interconectado Nacional en una comunidad, las tarifas que pagan los usuarios no se quedan en la localidad por ningún concepto, estas son transferidas a las empresas distribuidoras, generadoras y muchas veces fuera del país. Las microcentrales hidroeléctricas aisladas, gestionadas correctamente por la propia comunidad permiten generar recursos económicos por cobro de tarifas, parte de los cuales permanece en la comunidad en forma de salarios del personal local y fondos de de ahorro que generalmente se reinvierten en la misma comunidad. Como ejemplo se plantea el caso de los proyectos ejecutados en las comunidades de Choro y Camata. En el caso de Choro, desde la implementación del proyecto se ha calculado que la reducción de dinero que sale de la comunidad por conceptos energéticos se ha reducido en un 72%. El año 2007, la reducción significaba 6.460 Bs./mes (861 $us/mes). En el caso de Camata, la reducción es del 76%, es decir 2.857 Bs./mes (381 $us/mes, año 2007) que ahorra la población. En estas comunidades pobres, de reducidos ingresos, esto representa una contribución directa a la reducción de la pobreza a nivel de ahorro familiar, como sueldos de personal local y como creación de un fondo que se pueda utilizar para otras obras e inversiones.

El proyecto Microcentral hidroeléctrica Choro constituye un ejemplo de buena gestión local de estos proyectos. Gracias a una buena administración económica que pasa por un adecuado mantenimiento principalmente del equipo de generación, se ha lograda contar con recursos económicos provenientes de las tarifas por consumo eléctrico que han generado los siguientes logros:

1. Creación de un fondo de microcrédito para los socios, con créditos blandos de libre disponibilidad que han permitido mejorar el equipamiento de tiendas o poner en marcha nuevos negocios y también apoyar en labores agrícolas.
2. Compra de terreno y construcción de una sede para la Cooperativa de Electrificación.
3. Compra de una antena parabólica para TV con capacidad para toda la población.

8.2. Impacto en el ámbito social

La implementación de los proyectos ha provocado un impacto importante en el ámbito social, se han beneficiado un total aproximado de 4.100 familias, que tomando como promedio cinco componentes por familia hacen un aproximado de 20.500 personas.

Los impactos en los diferentes campos del ámbito social se pueden puntualizar:

Educación.

Los estudiantes se benefician aumentando su tiempo de estudio en el hogar, disponiendo de mejores centros educativos mejor iluminados y nuevos equipos como televisores y computadoras. Los maestros también mejoran sus condiciones de vida en sus viviendas y sus posibilidades de docencia contando con material audiovisual.

Salud.

En la salud se han evidenciado mejoras en el ámbito doméstico como la reducción de afecciones oculares y respiratorias causadas anteriormente por los mecheros a querosén y en alguna medida la reducción de accidentes causados por la combustión de velas, querosén y GLP.

En las comunidades donde existe posta de salud se ha mejorado la atención al paciente y las condiciones de trabajo del personal médico gracias a la iluminación eléctrica y a la adquisición de algún equipamiento médico moderno.

Doméstico.

Se ha mejorado notablemente la calidad de vida debido a los siguientes aspectos:

- Aumento de higiene en el hogar principalmente al cocinar
- Mayor disponibilidad de tiempo para socializar, en promedio las familias se acuestan una hora y media más tarde.
- El uso de refrigeradores y licuadoras amplía la gama y calidad de alimentos disponibles mejorando la alimentación familiar.
- La televisión ofrece entretenimiento e información aumentando así el conocimiento de los comunarios y muchas veces se convierte en la única ventana disponible hacia el mundo, aunque tiene también su aspecto negativo tendiendo a reducir el rendimiento académico de los alumnos, fomentando la adopción de valores ajenos a la comunidad (consumismo, individualismo) y afectando a la comunicación intrafamiliar.

Usos comunales y colectivos.

A nivel colectivo se pueden evidenciar también algunos impactos

- La iluminación de calidad y uso de aparatos eléctricos mejora la calidad y cantidad de reuniones y fiestas (muy importantes en el área rural boliviana).
- La iluminación en lugares públicos (plazas y calles) incrementa la vida social y comunicación entre los comunarios, principalmente entre los niños y jóvenes.
- La claridad en espacios públicos aumenta el control social y reduce los robos y actitudes indeseables. Alerta también de animales salvajes peligrosos como víboras e insectos ponzoñosos.

Aumento de la soberanía energética.

La dependencia de energéticos externos como las velas y el querosén ha sufrido impacto con la implementación de los proyectos:

- Los beneficiarios gestionan y operan su propio suministro energético (generan su propia energía), esto reduce el tiempo de dedicación a la obtención de combustibles (velas, querosén, GLP) que existía antes de la ejecución de los proyectos y los aísla de problemas de escasez de estos y de los incrementos de precios que son frecuentes en el país.
- La construcción y autogestión de las plantas incrementa los sentimientos de satisfacción y autoestima colectiva. La experiencia adquirida aumenta la capacidad

de mejorar o ampliar los proyectos, realizar otros u otros mejoramientos comunales.

- Las mejoras contribuyen a la cohesión comunal y en alguna medida frenan la emigración de los jóvenes.

8.3. Impacto ambiental

Teniendo en cuenta solo algunos aspectos, se pueden realizar las siguientes consideraciones con relación a los impactos negativos de los proyectos:

- Los impactos debidos a la deforestación, movimientos de tierras y paisajísticos (principalmente por los postes) son prácticamente despreciables debido a la reducida dimensión de las obras realizadas.
- El impacto sobre los peces, originado por la construcción del azud es reducido, debido a que todos los proyectos se han construido en zonas andinas, en ríos de pendientes elevadas donde prácticamente no existen peces migratorios que se desplazan aguas arriba para desovar. Para los peces nativos existentes en estos ríos, que en general son escasos, el azud no constituye un obstáculo importante para su supervivencia debido a que solo ocupa un reducido espacio en el lecho que prácticamente no interfiere con la vida de estas especies.
- En algunas plantas se deriva el 100% del caudal existente en época seca, lo que origina que un tramo del río aguas abajo del azud hasta el punto de restitución de las aguas turbinadas se seque o cuente con un reducido caudal. Este factor constituye un impacto sobre el río pero que se atenúa debido a que estos tramos donde disminuye considerablemente el flujo generalmente son pequeños debido a la magnitud de las centrales y en regiones bastante húmedas siempre existen flujos sub superficiales que afloran al lecho lo que disminuye el impacto.
- La contaminación del agua por las grasas utilizadas en la lubricación de los rodamientos del equipo de generación es mínima debido a que la cantidad de grasa que se utiliza es pequeña.
- La contaminación acústica debida al funcionamiento de los equipos es muy local, normalmente se circunscribe a pocos metros de la casa de máquinas que suele estar a cierta distancia de la población.
- En general, el impacto ambiental negativo es mínimo comparado con el de distintas alternativas de suministro a las comunidades como los generadores a combustibles fósiles y las líneas del sistema interconectado de considerable longitud.

Los impactos positivos provienen principalmente de la reducción del consumo de combustibles tradicionales como velas, querosén, pilas y gas licuado de petróleo GLP, utilizados para la iluminación nocturna y el funcionamiento de aparatos de radio. Esta reducción se puede traducir en reducción de gases de efecto invernadero GEIs equivalentes a kilogramos o toneladas de CO2. Los datos cuantificados considerando la totalidad de los proyectos ejecutados por el Programa se han calculado contando con datos base del trabajo de Andrés Hueso (2). Se puntualizan los aspectos más

importantes a destacar:

- Se calcula que en promedio se ha reducido el consumo mensual familiar de pilas para radio y linterna en 12,5 unidades, esto representa en promedio una reducción del 73% del consumo existente antes del proyecto. Si consideramos que hasta la fecha, con los proyectos ejecutados por el Programa se han beneficiado aproximadamente 4.100 familias, en consecuencia se han dejado de consumir 51.250 pilas por mes.
- Las pilas que se utilizan son pilas secas (carbón - zinc) o alcalinas (0.5 mercurio). Se estima que una sola pila seca puede contaminar hasta 3.000 litros de agua y una alcalina hasta 167.000 litros de agua. Suponiendo que solo la mitad de las pilas que se desechan acaben contaminando el agua, ya sea directamente en el río o debido a las lluvias, gracias a los proyectos, se ha reducido la contaminación mensual del agua entre 76.875 metros cúbicos debido a las pilas secas y 4.279.375 metros cúbicos debido a las alcalinas.
- Para el cálculo de la reducción de gases de efecto invernadero GEIs originado por la implementación de los proyectos, es necesario conocer el consumo de energéticos tradicionales por mes. De acuerdo con el estudio de Andrés Hueso (2), se tiene los siguientes consumos promedios:

Tabla 7. Consumo promedio de energéticos tradicionales por familia y por mes.

Velas (Kg)	Querosén (Lts.)	GLP (Kg)
1.00	3,51	3,60

Fuente: Ref. Bibliog. (2)

En la tabla Nº8 se muestra la reducción de consumo promedio de los anteriores combustibles en las comunidades estudiadas (2)

Tabla 8. Reducción de consumo de combustibles tradicionales por familia y por mes.

Reducciónd del consumo de velas (unidades)	Reducciónd del consumo de querosén (litros)	Reducciónd del consumo de GLP (garrafas)
22,22	3,51	0,36

Fuente: Ref. Bibliog. (2)

De acuerdo con el Programa Nacional de Cambios Climáticos, los factores de emisión equivalentes son:

Tabla 9. Factores de emisión equivalentes.

	FACTOR DE EMISIÓN
Parafina de vela	0.0030917 tCO_2/Kg
Querosén	0.00246248tCO_2/Lt
GLP	0.00299463tCO_2/kg

Fuente: Ref. Bibliog. (2)

Considerando que una vela pesa aproximadamente 45 grs. y una garrafa de gas contiene 10 kg de GLP, se puede estimar las reducciones promedio familiares de CO_2.

Tabla 10. Reducción deemisiones familiares mensuales de CO_2

Reducción de emisiones familiares mensuales de CO_2 por vetas (kg eq.)	**Reducción de emisiones familiares mensuales de CO_2 por querosén(kg eq.)**	**Reducción de emisiones familiares mensuales de CO_2 por GLP(kg eq.)**	**Total (kg eq.)**
3.09	8.64	10.78	22.51

Fuente: Ref. Bibliog. (2)

De acuerdo a estos cálculos, cada mes, como promedio se evita la emisión de 22,51 kg de CO_2 equivalente por familia. Considerando las aproximadamente 4.100 familias favorecidas con los proyectos, se calcula que gracias a estos, se ha evitado la emisión de 92.291 kg de CO_2 equivalentes por mes y 1.107.492 kg de CO_2 equivalentes por año.

9. BIBLIOGRAFIA

1. **COZ FEDERICO,** et al. (1995) "Manual de mini y microcentrales hidroeléctricas", Editores Programa de Energía de ITDG Perú, Intermediate Technology Development Group.
2. **HUESO GONZALES ANDRES,** (2007) "Estudio sobre el impacto social, económico y ambiental de microcentrales hidroeléctricas implantadas en comunidades rurales aisladas de Bolivia", Proyecto de Grado inédito,Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Mayor de San Andrés, Universidad Politécnica de Valencia, La Paz, Bolivia.
3. **LAUTERJUNG HELMUT** (1990) "Taller subregional sobre micro centrales hidroeléctricas", Montevideo, Uruguay, 12 al 16 de Noviembre de 1990.
4. **MOLINA JORGE (1997)**, "Temas especiales de hidráulica Civ 340", Manual de curso inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
5. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2005)** "Microcentral hidroeléctrica para el procesamiento de fibras naturales Agua Blanca", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
6. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2003)** "Microcentral hidroeléctrica, planta procesadora de locoto y café Camata", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
7. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2004),** "Microcentral hidroeléctrica, planta procesadora de plátano y café Charía", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
8. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2001),** "Microcentral hidroeléctrica Flor de Mayo", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
9. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2007),** "Microcentral hidroeléctrica y taller de carpintería Yanamayu", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
10. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2009),** "Microcentral hidroeléctrica y prebeneficiadora de café Nogalani", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
11. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, EMILIANO MONTAÑO GONZALES (2010),** "Microcentral hidroeléctrica Palmeras", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
12. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2010),** "Microcentral hidroeléctrica Quinuni", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
13. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2011),** "Energía hidroeléctrica para la incorporación de la computación a la educación y molienda en la comunidad de Copachullpa", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

14. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS, MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2011),** "Microcentral hidroeléctrica Siguani Grande", Informe Final inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
15. **MONROY CUELLAR JOSE LUIS (1990),** "Turbina de flujo cruzado Michell Banki y su aplicación en microcentrales hidroeléctricas", Proyecto de Grado inédito, Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería,Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
16. **MONTAÑO GONZALES EMILIANO (2011),** "Investigación y desarrollo de reguladores de velocidad para turbina - generador, por control de carga electrónico", Informe de proyecto inédito, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
17. **SCHOKLITSCH ARMIN (1961),** "Tratado de Arquitectura Hidráulica", Tomo II, 2a.ed., Tomo II. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
18. **SWISS CENTER FOR APPROPRIATE TECHNOLOGY (1980)** "Crossflow Turbine", CH - 9000 St. Gallen, Switzerland.
19. **WATER POWER & DAM CONSTRUCTION (1991)** "Riva Hydroart" Quadrant House, Sutton, Surrey, SM2 5AS, UK, July 1991, Vol.43, Nº8, pp.14

Sitios de Internet.

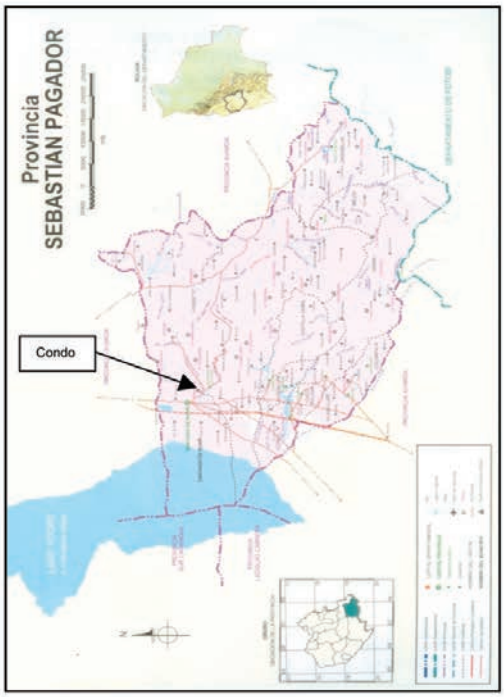
20. http:// www.entec.ch
21. http:// www. mhpp.org
22. http:// www. ty coralves-pc.com
23. http:// www. pienergies.com
24. http:// www. ossberger.com
25. http:// www. parvex.com

ANEXOS

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral San Pedro de Condo

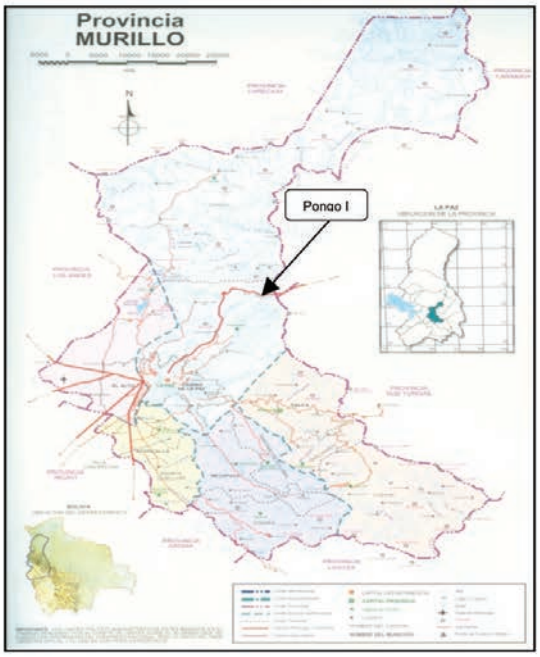
1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica San Pedro de Condo
2.- UBICACION: Prov. Sebastían Pagador Depto. Oruro
3.- BENEFICIARIOS: 100 familias
4.- AÑO DE FINALIZACION: 1988
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 40 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 125 l/s
CAIDA BRUTA: 62.4 m
CAIDA NETA: 60 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 9 m
ALTURA MAXIMA 1.3 m
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 4815 m
PENDIENTE: variable
MATERIAL: Empedrado
DIAMETRO TUBERIA: DIMENSIONES
CANAL:
5.4.- CAMARA DE CARGA
LONGITUD 25 m
ANCHO 25 m
ALTURA 1.7 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 204 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL Acero
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 30 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki de fabricación local
GENERADOR Trifásico 75 KVA peruano
GOBERNADOR Electrónico de 50 kW Thomson Canada
6.- FINANCIAMIENTO: PL 480 Embajada de Francia
7.- CONSTRUCCION: ihh – UMSA – Comunidad de Condo
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Instituto de Hidráulica e Hidrología
9.- COSTO DE INVERSION: 73.867 $us



INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO	PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Pongo I

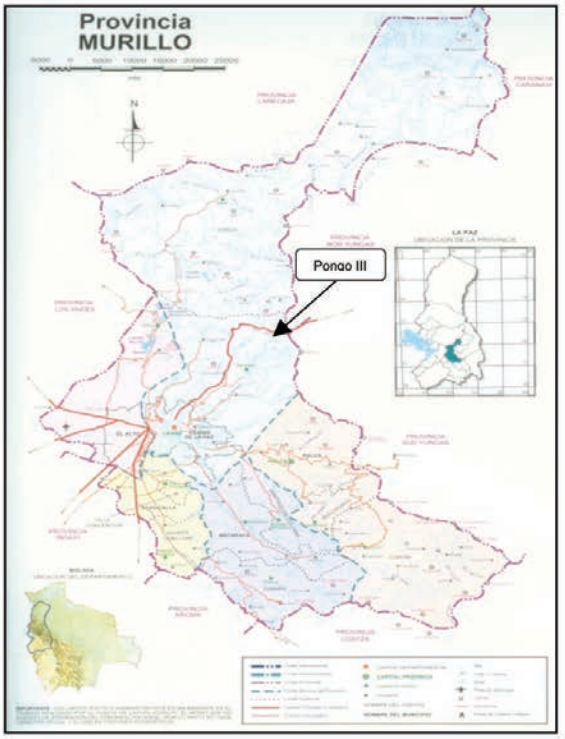
1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Pongo I
2.- UBICACION: Prov. Murillo Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: Centro de Fomento Pesquero Pongo
4.- AÑO DE FINALIZACION: 1989
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 6 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 14 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 60 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 60 m
PENDIENTE:
MATERIAL: Tubería PVC
DIAMETRO TUBERIA: 10"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD
ANCHO INTERIOR
ALTURA MÁXIMA
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 105 m
DIAMETRO 6"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 9 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 4 inyectores, fabricación local
GENERADOR Monofásico 10 KVA , brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 8 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: JICA – Japón
7.- CONSTRUCCION: Empresa Constructora
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Instituto de Hidráulica e Hidrología
9.- COSTO DE INVERSION:

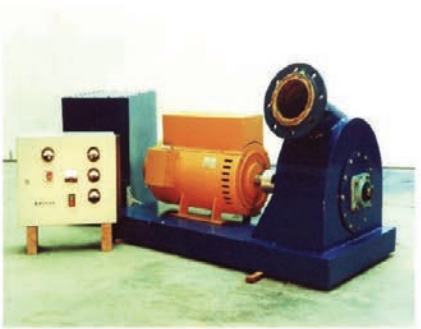


INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Pongo III

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Pongo III
2.- UBICACION: Prov. Murillo Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: Empresa DUERI
4.- AÑO DE FINALIZACION: 1993
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 7 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 12 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 85 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 120 m
PENDIENTE:
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 10"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 4 m
ANCHO INTERIOR 0.8 m
ALTURA MÁXIMA 0.7 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 172 m
DIAMETRO 4"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 10 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA
Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 2 inyectores fabricación local
GENERADOR Monofásico 10 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 10 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: Empresa Dueri
7.- CONSTRUCCION: Administración directa
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético
9.- COSTO DE INVERSION:





INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Choro

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Choro
2.- UBICACION: Prov. Caranavi Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 70 familias Choro Alto y Bajo
4.- AÑO DE FINALIZACION: 1994
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 16 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 50 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 80 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 20 m
PENDIENTE:
MATERIAL: Hormigón
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL: 0.10 m2
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 10 m
ANCHO INTERIOR 1 m
ALTURA MÁXIMA 1.2 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 218 m
DIAMETRO 6"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 12 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 4 inyectores fabricación local
GENERADOR Monofásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 20 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: FCIL Canadá – HAM Caranavi
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Choro
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético
9.- COSTO DE INVERSION:

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Quehuiña Pampa

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Quehuiña Pampa
2.- UBICACION: Prov. Carrasco Depto. Cochabamba
3.- BENEFICIARIOS: 85 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 1995
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 43 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 180 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 45 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 1610 m
PENDIENTE:
MATERIAL: Hormigón
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL: 0.25 m2
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11 m
ANCHO INTERIOR 1 m
ALTURA MÁXIMA 1.5 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 72 m
DIAMETRO 12"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki fabricación local
GENERADOR Trifásico 90 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 45 kW fabricación local
4.- FINANCIAMIENTO: Embajada de Holanda
5.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Quehuiña Pampa - CINER
6.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético
7.- COSTO DE INVERSION:

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Leque:ErrorIMarcador no

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Leque
2.- UBICACION: Prov. Tapacarí Depto. Cochabamba
3.- BENEFICIARIOS: 25 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 1996
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA

POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR:	5 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO:	120 l/s
CAIDA BRUTA:	8.9 m
CAIDA NETA:	8 m

5.2.- OBRA DE TOMA

LONGITUD DEL AZUD	
ALTURA MAXIMA	
DIMENSIONES BOCATOMA	

5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION

LONGITUD:	500 m
PENDIENTE:	
MATERIAL:	Hormigón
DIAMETRO TUBERIA:	
DIMENSIONES CANAL:	0.20 m2

5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA

LONGITUD	
ANCHO INTERIOR	
ALTURA MÁXIMA	

5.5.- TUBERIA DE PRESION

LONGITUD	16.5 m
DIAMETRO	10"
MATERIAL	PVC

5.6.- CASA DE MAQUINAS

AREA UTIL	16 m2
MATERIAL PAREDES	Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA	Calamina

5.7.- EQUIPO DE GENERACION

TURBINA	Michell Banki fabricación local
GENERADOR	Monofásico 7.5 KVA brasilero
GOBERNADOR	Electrónico de 5 kW fabricación local

6.- FINANCIAMIENTO: FCIL Canadá
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Leque
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético
9.- COSTO DE INVERSION:

INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA

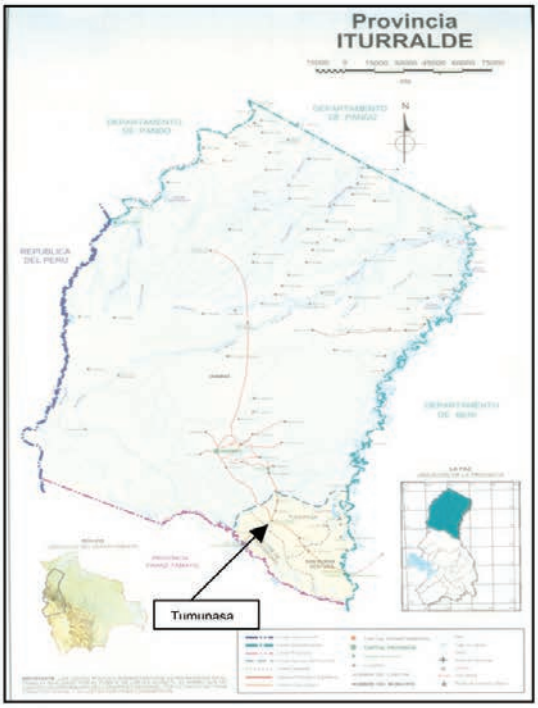
PROGRAMA HIDROENERGETICO	PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica San Pedro

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica San Pedro
2.- UBICACION: Prov. Caranavi Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 60 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 1997
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 20 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 25 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 120 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 30 m
PENDIENTE: 3 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 6"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD
ANCHO INTERIOR
ALTURA MÁXIMA
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 300 m
DIAMETRO 6", 4"
MATERIAL PVC, FºGº
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton una entrada, fabricación local
GENERADOR Trifásico 25 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 20 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD, Nueva Frontera, Alcaldía de Caranavi
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de San Pedro
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético, Nueva Frontera
9.- COSTO DE INVERSION:

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **Microcentral Hidroeléctrica Leque**

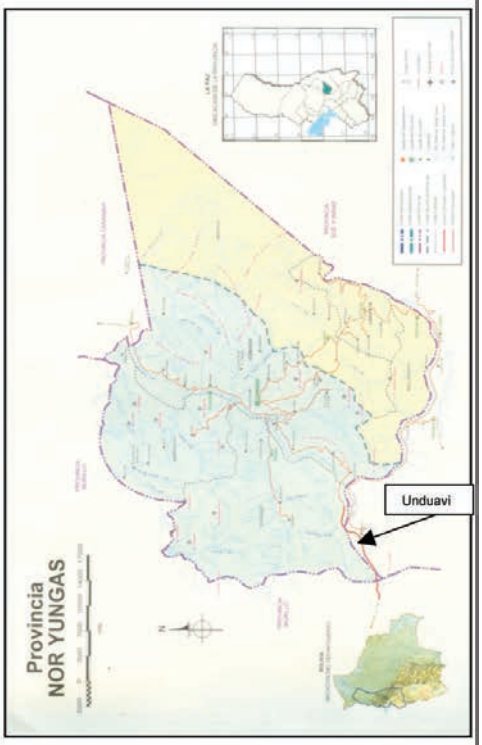
1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Tumupasa
2.- UBICACION: Prov. Iturralde Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 131 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 1998
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 33 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 100 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 52 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 400 m
PENDIENTE:
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 12"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 12 m
ANCHO INTERIOR 1 m
ALTURA MÁXIMA 1.7 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 120 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 4 entradas, fabricación local
GENERADOR Trifásico 50 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 35 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: UE, Nueva Frontera
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Tumupasa
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético, Nueva Frontera
9.- COSTO DE INVERSION:



INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Unduavi

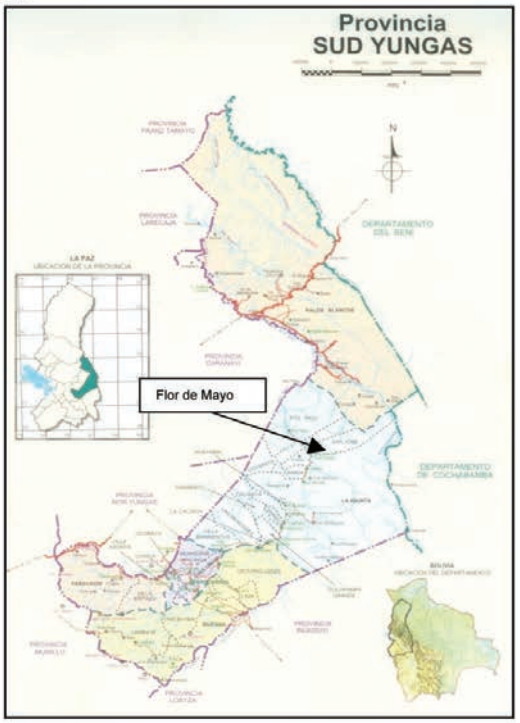
1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Unduavi
2.- UBICACION: Prov. Nor Yungas Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 62 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 1999
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 13 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 180 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 13 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 170 m
PENDIENTE: 0.4 %
MATERIAL: Hormigón
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL: 0.23 m2
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD
ANCHO INTERIOR
ALTURA MÁXIMA
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 36 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 10 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 25 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 15 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: FCIL Canadá
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Unduavi
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION:



INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Flor de Mayo

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Flor de Mayo
2.- UBICACION: Prov. Sud Yungas Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 48 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2001
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 12 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 30 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 60.6 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 7.7 m
ALTURA MAXIMA 1.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.2 m x 0.42 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 650 m
PENDIENTE: 0.5 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 10 "
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 9.2 m
ANCHO INTERIOR 1.2 m
ALTURA MÁXIMA 1.8 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 170 m
DIAMETRO 6", 4"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Adobe
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 4 inyectores, fabricación local
GENERADOR Trifásico 20 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 15 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Flor de Mayo
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION:



INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Taipiplaya

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Taipiplaya
2.- UBICACION: Prov. Caranavi Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 67 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2002
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 21.2 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 25 l/s
CAIDA BRUTA: 145 m
CAIDA NETA: 133.4 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 4.9 m
ALTURA MAXIMA 1.2 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.2 m x 0.40 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 220 m
PENDIENTE: 2%
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 6"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 10 m
ANCHO INTERIOR 1.0 m
ALTURA MÁXIMA 1.0 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 280 m
DIAMETRO 6", 4"
MATERIAL PVC, FºGº
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 1 inyector, fabricación local
GENERADOR Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 25 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Taipiplaya
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético, Fac. Agronomía
9.- COSTO DE INVERSION: 30.520 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Camata

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica, Planta Procesadora de Locoto y Café Camata
2.- UBICACION: Prov. Muñecas Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 110 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2003
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA

POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR:	27 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO:	30 l/s
CAIDA BRUTA:	145 m
CAIDA NETA:	141 m

5.2.- OBRA DE TOMA

LONGITUD DEL AZUD	2.6 m
ALTURA MAXIMA	2.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA	

5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION

LONGITUD:	370 m
PENDIENTE:	3%
MATERIAL:	PVC
DIAMETRO TUBERIA:	6"
DIMENSIONES CANAL:	

5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA

LONGITUD	9.5 m
ANCHO INTERIOR	1.5 m
ALTURA MÁXIMA	1.8 m

5.5.- TUBERIA DE PRESION

LONGITUD	336 m
DIAMETRO	6", 4"
MATERIAL	PVC, FºGº

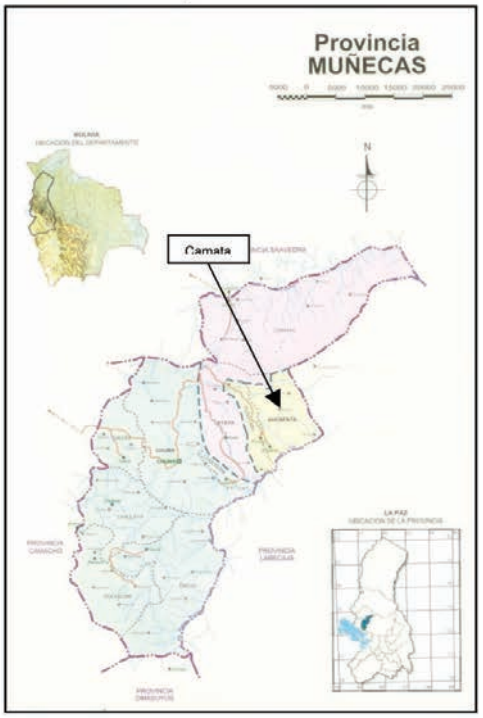
5.6.- CASA DE MAQUINAS

AREA UTIL	9 m2
MATERIAL PAREDES	Tapial
MATERIAL CUBIERTA	Calamina

5.7.- EQUIPO DE GENERACION

TURBINA	Pelton 1 inyector, fabricación local
GENERADOR	Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR	Electrónico de 30 kW fabricación local

6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Camata
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 33.407 $us



INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

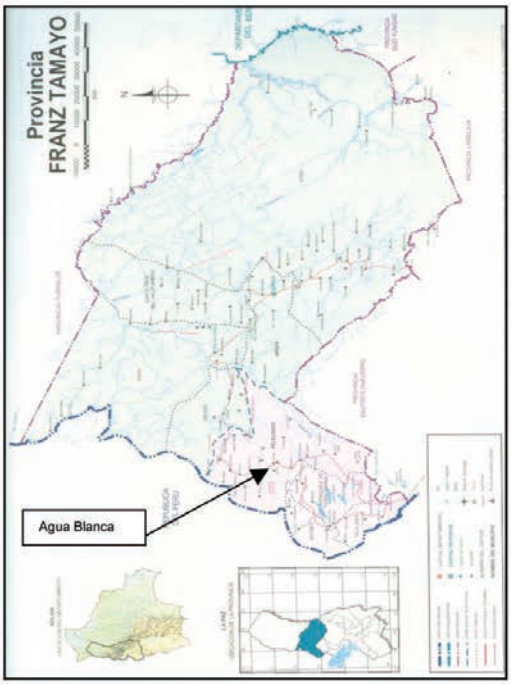
PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Charía

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica, Planta Procesadora de Plátano y Café Charía
2.- UBICACION: Prov. Sud Yungas Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 120 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2004
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 20 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 53 l/s
CAIDA BRUTA: 64.7 m
CAIDA NETA: 59.2 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA 0.5x0.25 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 1000 m
PENDIENTE: 1%
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 8"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11.5 m
ANCHO INTERIOR 1.2 m
ALTURA MÁXIMA 1.8 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 152 m
DIAMETRO 6"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Adobe
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 4 inyectores, fabricación local
GENERADOR Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 20 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Charía
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 28.882 $us

INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Agua Blanca

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica para el Procesamiento de Fibras Naturales Agua Blanca
2.- UBICACION: Prov. Franz Tamayo Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 88 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2005
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 30 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 30 l/s
CAIDA BRUTA: 64.7 m
CAIDA NETA: 175.2 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 5.7 m
ALTURA MAXIMA 1.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.6x0.3 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: PENDIENTE:
MATERIAL:
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 8.0 m
ANCHO INTERIOR 1.0 m
ALTURA MÁXIMA 1.0 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 495 m
DIAMETRO 6"
MATERIAL PVC, FºGº
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Piedra
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton 2 inyectores, fabricación local
GENERADOR Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 30 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Agua Blanca
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 30.612 $us



INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Calzada

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Calzada
2.- UBICACION: Prov. Sud Yungas Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 230 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2005
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 70 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 200 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 67.6 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 3.0 m
ALTURA MAXIMA 1.5 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.54x0.5 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 100 m
PENDIENTE: 5.6 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 6", 10"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 10.0 m
ANCHO INTERIOR 1.5 m
ALTURA MÁXIMA 1.2 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD
DIAMETRO 10"
MATERIAL Acero
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 20 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 95 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 70 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: Comunidad de Calzada
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Calzada
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 76.000 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Chucura

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Chucura
2.- UBICACION: Prov. Murillo Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 60 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2005
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 21,3 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 40 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 83.7 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 5.1 m
ALTURA MAXIMA 1.6 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.45x0.3 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 650 m
PENDIENTE: 2.75 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 8"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 9.0 m
ANCHO INTERIOR 1.0 m
ALTURA MÁXIMA 1.6 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 260 m
DIAMETRO 6"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton, fabricación local
GENERADOR Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 21 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: BIAP/SERNAP
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Chucura
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 53.307 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

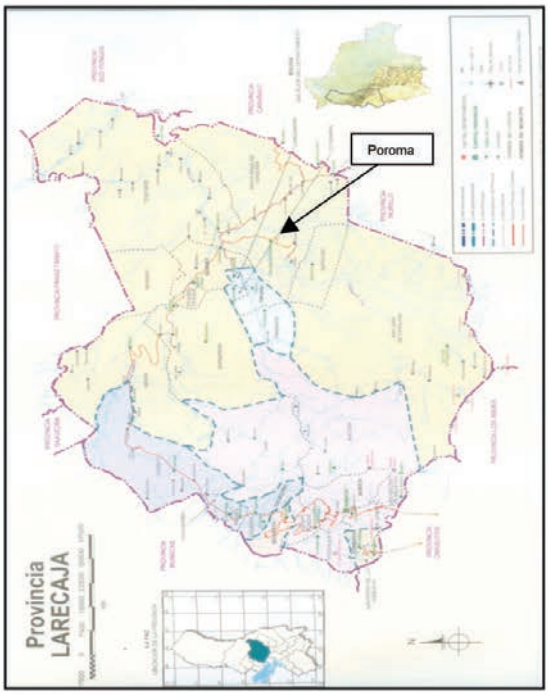
PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Poroma

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Energía Hidroeléctrica para Pelado de Arroz ,Taller Artesanal y Comunidad Poroma
2.- UBICACION: Prov. Larecaja Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 60 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2006
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA

POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR:	40 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO:	160 l/s
CAIDA BRUTA:	
CAIDA NETA:	51.2 m
5.2.- OBRA DE TOMA	
LONGITUD DEL AZUD	10.1 m
ALTURA MAXIMA	2.5 m
DIMENSIONES BOCATOMA	0.67x0.6 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION	
LONGITUD:	360 m
PENDIENTE:	1.0 %
MATERIAL:	PVC
DIAMETRO TUBERIA:	12", 8"
DIMENSIONES CANAL:	
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA	
LONGITUD	11.5 m
ANCHO INTERIOR	1.2 m
ALTURA MÁXIMA	1.8 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION	
LONGITUD	114 m
DIAMETRO	10"
MATERIAL	PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS	
AREA UTIL	14 m2
MATERIAL PAREDES	Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA	Calamina

5.7.- EQUIPO DE GENERACION

TURBINA	Michell Banki, fabricación local
GENERADOR	Trifásico 80 KVA brasilero
GOBERNADOR	Electrónico de 40 kW fabricación local

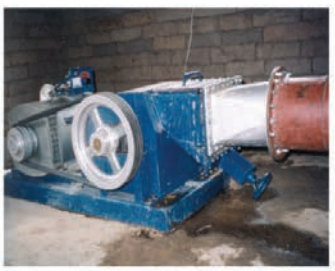


6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Poroma
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 45.331 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica San José

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica y Molino San José
2.- UBICACION: Prov. Arce Depto. Tarija
3.- BENEFICIARIOS: 58 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2006
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 15 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 200 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 12.5 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 500 m
PENDIENTE:
MATERIAL: Tierra
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11.5 m
ANCHO INTERIOR 1.2 m
ALTURA MÁXIMA 1.6 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 44 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 14 m2
MATERIAL PAREDES Adobe
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 25 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 15 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PNCC – BIAP/SERNAP
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de San José
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 43.391 $us



INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Volcán Blanco

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica y Molino Volcán Blanco
2.- UBICACION: Prov. Arce Depto. Tarija
3.- BENEFICIARIOS: 36 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2007
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 7.8 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 130 l/s
CAIDA BRUTA: 13.5 m
CAIDA NETA: 12.2 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA 1.0x0.35 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 1512 m
PENDIENTE: 0.15%
MATERIAL: Tierra
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 7.5 m
ANCHO INTERIOR 1.0 m
ALTURA MÁXIMA 1.4 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 24 m
DIAMETRO 8"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 14 m2
MATERIAL PAREDES Adobe
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 10 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 8 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PNCC – BIAP/SERNAP
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Volcán Blanco
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 31.410$us

INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO	PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Munaypata

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Munaypata
2.- UBICACION: Prov. Inquisivi Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 70 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2008
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 14 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 170 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 16.8 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 1500 m
PENDIENTE: variable
MATERIAL: Tierra/Hormigón
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 10 m
ANCHO INTERIOR 1 m
ALTURA MÁXIMA 1.2 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 51 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Adobe
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 25 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 15 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: Proagro GTZ – HAM Inquisivi
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Munaypata
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 27.342 $us

INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Nogalani

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica y Planta Prebeneficiadora de Café Nogalani
2.- UBICACION: Prov. Sud Yungas, Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 80 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2009
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 36 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 130 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 56 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 10.4 m
ALTURA MAXIMA 1.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.71x0.40 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 846 m
PENDIENTE: 1.0 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11.5 m
ANCHO INTERIOR 1.0 m
ALTURA MÁXIMA 1.8 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 90 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 40 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD, Comunidad de Nogalani
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Nogalani
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 72.984 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Quinuni

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Quinuni
2.- UBICACION: Prov. Sud Yungas, Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 108 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2010
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 26 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 250 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 20.8 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 7.8 m
ALTURA MAXIMA 1.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA 1.50x0.55 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 522 m
PENDIENTE: 2.0 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 8", 12"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11.5 m
ANCHO INTERIOR 1.3 m
ALTURA MÁXIMA 1.8 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 42 m
DIAMETRO 12"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 40 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 30 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PNCC – VMEEA
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Quinuni
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 57.529 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

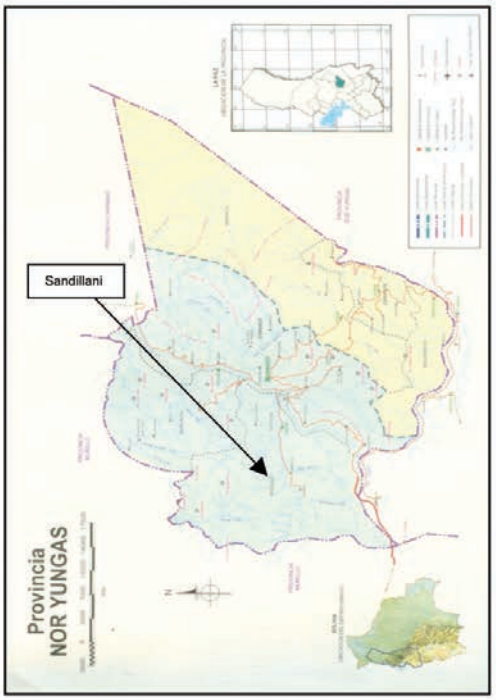
PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Palmeras

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Palmeras
2.- UBICACION: Prov. Sud Yungas, Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 60 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2010
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 16.7 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 220 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 15.5 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 14 m
ALTURA MAXIMA 1.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA 0.90x0.40 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 240 m
PENDIENTE: 1.5 %
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 8", 12"
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11.5 m
ANCHO INTERIOR 1.2 m
ALTURA MÁXIMA 1.8 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 28.3 m
DIAMETRO 10"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES Ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 25 KVA brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 17 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PNCC – VMEEA
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Palmeras
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: ProgramaHidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 47.960 $us

INSTITUTO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Sandillani

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Sandillani
2.- UBICACION: Prov. Nor Yungas, Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 25 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2010
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 7.6 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 20 l/s
CAIDA BRUTA:
CAIDA NETA: 60 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD
ALTURA MAXIMA
DIMENSIONES BOCATOMA
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD:
PENDIENTE:
MATERIAL:
DIAMETRO TUBERIA:
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD
ANCHO INTERIOR
ALTURA MÁXIMA
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 180 m
DIAMETRO 4"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 9 m2
MATERIAL PAREDES
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Pelton de 2 inyectores, fabricación local
GENERADOR Trifásico 10 KW chino
GOBERNADOR Electrónico de 10 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Sandillani
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 10.286 $us



INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGIA

PROGRAMA HIDROENERGETICO | **PROYECTO:** Microcentral Hidroeléctrica Siguani

1.- NOMBRE DEL PROYECTO: Microcentral Hidroeléctrica Siguani
2.- UBICACION: Prov. Sur Yungas, Depto. La Paz
3.- BENEFICIARIOS: 40 familias
4.- AÑO DE EJECUCION: 2011
5.- DATOS TECNICOS:
5.1.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA PLANTA
POTENCIA EN BORNES DEL GENERADOR: 12 kW
CAUDAL DE EQUIPAMIENTO: 225 l/s
CAIDA BRUTA: 11.8 m
CAIDA NETA: 11.5 m
5.2.- OBRA DE TOMA
LONGITUD DEL AZUD 15.0 m
ALTURA MAXIMA 1.0 m
DIMENSIONES BOCATOMA 1.5x0.4 m
5.3.- CANAL O TUBERIA DE AUCCION
LONGITUD: 900 m
PENDIENTE: 0.5%
MATERIAL: PVC
DIAMETRO TUBERIA: 400 mm
DIMENSIONES CANAL:
5.4.- DESARENADOR – CAMARA DE CARGA
LONGITUD 11.0 m
ANCHO INTERIOR 1.2 m
ALTURA MÁXIMA 1.7 m
5.5.- TUBERIA DE PRESION
LONGITUD 16 m
DIAMETRO 12"
MATERIAL PVC
5.6.- CASA DE MAQUINAS
AREA UTIL 16 m2
MATERIAL PAREDES ladrillo
MATERIAL CUBIERTA Calamina
5.7.- EQUIPO DE GENERACION
TURBINA Michell Banki, fabricación local
GENERADOR Trifásico 30 KW brasilero
GOBERNADOR Electrónico de 15 kW fabricación local
6.- FINANCIAMIENTO: PPD/PNUD, Comunidad de Siguani
7.- CONSTRUCCION: Programa Hidroenergético – Comunidad de Siguani
8.- DISEÑO, SUPERVISION, EQUIPAMIENTO Y CAPACITACION: Programa Hidroenergético,
9.- COSTO DE INVERSION: 50.175 $us