

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



“Estudio de Pre-factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica  
de San Pedro de Huacos – Canta – Lima”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA

JULIO ANDRÉS CÁCERES VERGARA

PROMOCIÓN 2006-I

LIMA – PERÚ

2

2006

“Estudio de Pre-factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica  
de San Pedro de Huacos – Canta – Lima”

A los 2 pilares de mi vida:

César Vergara Rosas y

Doris Zelada Navarro

"Una búsqueda comienza siempre con la suerte del principiante  
y termina con la prueba del conquistador."

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar en primer lugar mis más sinceros agradecimientos a la gran Familia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI, por abrirme las puertas del conocimiento y del saber, a mi asesor de tesis, Ing. Reynaldo Villanueva Ure por el apoyo en el desarrollo de este estudio, por sus enseñanzas en los cursos de Centrales Hidroeléctricas y Auditoria de Sistemas Electromecánicos y además por ser ejemplo de puntualidad y decisión.

Quiero agradecer los comentarios oportunos de la Ing. Giovanna Venegas Rojas, especialista en Ingeniería de Energías Renovables, al Ing. Celso Dávila Vásquez, especialista en Proyectos de Energías Renovables, al Ing. Carlos Alberto Reza Azurduy, especialista en Microcentrales Hidroeléctricas en Bolivia y a los representantes de ITDG y ADINELSA porque son parte del gran proyecto de electrificar a toda la Zona Rural del país.

Quiero agradecer de corazón a Gehison Rodríguez Argumedo, por su apoyo incondicional, en especial durante esta etapa de inicio de nuestras vidas. A mi familia, en especial a mi padre César por brindarme todo su apoyo desde tan lejos y ser ejemplo de desarrollo y que realmente cuando uno quiere algo el universo entero conspira para que se lleve a cabo.

A todos mis amigos y trabajadores de la facultad, en especial a mi amigo Renato Chávez Cajahuanca con quien nos dimos aliento para el desarrollo de nuestras tesis de grado.

Me queda dar las gracias a mi asesora de toda la vida, Doris Alicia Zelada Navarro, cuya enseñanza se resume en la siguiente frase: “Cuando uno tiene fuerza de vencerse a sí mismo, entonces ha nacido para hacer las cosas grandes”.

Finalmente a Dios, porque sin duda, sin él nada de esto hubiese sido posible.

**TABLA DE CONTENIDOS**

PRÓLOGO	01
CAPÍTULO 01: INTRODUCCIÓN	03
CAPÍTULO 02: ENERGÍA Y ELECTRIFICACIÓN	09
CAPÍTULO 03: CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	18
CAPÍTULO 04: ESTUDIO DE LA DEMANDA	26
CAPÍTULO 05: ESTUDIO DE LA OFERTA ENERGÉTICA LOCAL	40
CAPÍTULO 06: PLANIFICACIÓN Y ASPECTOS TÉCNICOS	49
CAPÍTULO 07: EVALUACIÓN ECONÓMICA	88
CAPÍTULO 08: ASPECTOS AMBIENTALES	102
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	113

PRÓLOGO	01
CAPÍTULO 01: INTRODUCCIÓN	03
1.1 GENERALIDADES	03
1.2 SITUACION ACTUAL DE DESARROLLO	05
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	06
1.4 JUSTIFICACION	07
1.5 ALCANCES	08
CAPÍTULO 02: ENERGÍA Y ELECTRIFICACIÓN	09
2.1 CONCEPTO	09
2.2 FUENTES DE ENERGIA	09
2.3 CLASIFICACION DE LAS FUENTES DE ENERGIA	09
2.4 ENERGIA ELECTRICA	13
2.5 ELECTRIFICACION RURAL	14
2.6 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EN LA ELECTRIFICACION RURAL	15
2.7 AVANCE EN LA ELECTRIFICACION RURAL DEL PERU	16
CAPÍTULO 03: CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	18
3.1 DEFINICION	18
3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	19
3.3 CLASIFICACION DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS	20
3.4 CENTRALES HIDROELECTRICAS DE BAJA POTENCIA	21
3.5 LAS MCH'S COMO UNA OPCION PARA LA ELECTRIFICACION RURAL	24
CAPÍTULO 04: ESTUDIO DE LA DEMANDA	26

4.1 GENERALIDADES	26
4.2 UBICACIÓN Y DATOS DE LA ZONA	27
4.3 RECOPIACION DE INFORMACION	29
4.3.1 TRABAJO EN TEORIA	29
4.3.2 TRABAJO DE CAMPO	30
4.4 ESTIMACION DE LA DEMANDA ACTUAL	31
4.5 CALCULO DE LAS CARGAS	33
4.6 ESTIMACION DE LA DEMANDA FUTURA	37
CAPÍTULO 05: ESTUDIO DE LA OFERTA ENERGÉTICA LOCAL	40
5.1 BUSQUEDA DE RECURSOS	40
5.2 APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO	42
5.3 EL RECURSO HIDRICO	44
5.4 APROVECHAMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO Y CANALES PARA USOS ENERGETICOS	47
5.6 DEMANDA VS OFERTA	48
CAPÍTULO 06: PLANIFICACIÓN Y ASPECTOS TÉCNICOS	49
6.1 ASPECTOS PRELIMINARES	49
6.1.1 UBICACIÓN ACCESIBLE	49
6.1.2 UBICACIÓN ESPECIAL	50
6.2 PLANIFICACION DEL PROYECTO	51
6.2.1.- Estimado de Costos y Disponibilidad de Equipos	51
6.2.2.- Respuesta de la demanda	52
6.2.3.- Estimación de la Potencia Disponible	52
6.2.4.- Estimación de la Demanda	52
6.2.5.- Estimación de la Demanda Empresarial	53

6.2.6.- Estimación del Tamaño del Generador y su costo	53
6.2.7.- Verificación preliminar de viabilidad	53
6.2.8.- Definir caudal de diseño	54
6.2.9.- Reunión con la comunidad	54
6.2.10.- Proyecto detallado	55
6.2.11.- Cálculo final de la Potencia	55
6.2.12.- Mapa a Escala	56
6.2.13.- Esquema de Obras	56
6.2.14.- Revisión del Esquema	56
6.2.15.- Elaboración del Presupuesto	56
6.2.16.- Viabilidad Financiera	57
6.2.17.- Contratos con los clientes	57
6.2.18.- Financiamiento	58
6.2.19.- Solicitud y Transporte de Materiales	58
6.2.20.- Etapa de Construcción	58
6.2.21.- Capacitación de Operadores	58
6.2.22.- Información a los Clientes	59
6.2.23.- Puesta en servicio del proyecto	59
6.4 OBRAS CIVILES	59
6.5 PARTES DE LAS OBRAS CIVILES	64
6.5.1 BOCATOMA	64
6.5.2 CANAL DE ADUCCION	65
6.5.3 CAMARA DE CARGA CON DESARENADOR	72

6.5.4 TUBERIA FORZADA	75
6.5.4.1 SELECCIÓN DE LA TUBERIA FORZADA	76
6.5.4.2 PRESION NOMINAL	76
6.5.4.3 ESPECIFICACION DE LA PRESION NOMINAL CORRECTA	77
6.5.4.4 DIAMETRO DE LA TUBERIA	78
6.5.4.5 CONEXIÓN DE LA TOBERA	81
6.6 EQUIPO ELECTROMECHANICO	82
6.6.1 LA TURBINA	82
6.6.2 GENERADORES	85
6.7 TECNOLOGIA DE BAJO COSTO PARA OBRAS CIVILES DE MICROCENTRALES RURALES	87
CAPITULO 7: EVALUACION ECONOMICA	88
7.1 GENERALIDADES	88
7.2 EVALUACION DE ALTERNATIVAS	89
7.3 CONSIDERACIONES BASICAS	90
7.4 COSTEO DE LA INVERSION DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA	91
7.5 COSTO DE LA ENERGIA	92
7.6 ENERGIA RESIDENCIAL	92
7.7 OTROS CONSUMOS DE ENERGIA	93
7.8 DECISIONES DE BENEFICIO Y COSTO	96
7.9 VALOR ACTUAL NETO (VAN)	96

7.10 INDICADOR DE BENEFICIO COSTO (B/C)	97
7.11 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	97
7.12 ANALISIS DE SENSIBILIDAD	98
CAPITULO 8: ASPECTOS AMBIENTALES	102
8.1 GENERALIDADES	102
8.2 IMPACTO SONICO	105
8.3 IMPACTO PAISAJISTICO	105
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFIA	112
ANEXOS	113

## PRÓLOGO

El desarrollo de la presente tesis asume el compromiso de llevar a cabo el estudio de pre-factibilidad del potencial hidráulico encontrado en la localidad de San Pedro de Huacos con la finalidad de evaluar la posible instalación de una microcentral hidroeléctrica a solicitud de los pobladores de la zona. Esta localidad se encuentra en el departamento de Lima, provincia de Canta, distrito de Huaros, a una altitud de 3565msnm.

De la información recogida del campo, las obras civiles ya se encuentran operando como parte del sistema de captación para riego y consumo de la comunidad. Debido a que se ha presentado esta oportunidad de un doble aprovechamiento, creemos conveniente iniciar un estudio que nos avale dicha afirmación. La segunda ventaja que hemos encontrado es que hay un caudal casi constante durante todo el año que llega a dicha localidad y sumado a esto existe una diferencia de altura que nos proporcionará la energía potencial suficiente para hacer funcionar la central.

En el primer capítulo vemos la situación actual de desarrollo de las microcentrales hidroeléctricas, expondremos los objetivos, alcances del estudio y la justificación. En el segundo capítulo hablaremos rápidamente del concepto de energía y las fuentes que tenemos para el desarrollo de proyectos del ámbito renovable, tales como la solar, eólica y microhidráulicas. Mencionaremos lo concerniente a electrificación rural y sus tecnologías actuales de desarrollo en el Perú. Ya en el capítulo 3

comentaremos de las centrales hidroeléctricas y el rol que tiene en el país, así como sus ventajas y desventajas, finalmente veremos la microhidráulica como una opción a desarrollar en el sector rural.

El estudio de la demanda se verá en el capítulo 4, el cual se basó en un análisis de información estadística y de encuesta, dándonos como resultado la demanda de potencia para los próximos 15 años. La oferta energética está en el capítulo 5 y constará de la evaluación de alternativas, dándole mayor énfasis en el desarrollo hídrico que finalmente nos dará como resultado cuanta energía hidráulica aprovechable podemos ofrecer a la comunidad.

En el capítulo 6 veremos los pasos a seguir en la planificación de un proyecto de esta naturaleza y cada uno de los componentes de la microcentral hidroeléctrica. Finalmente mencionaremos la tecnología de bajo costo como alternativa de desarrollo.

En el capítulo 7 se evaluará económicamente el proyecto por medio de indicadores como el TIR, VAN y B/C. También haremos un análisis de sensibilidad donde veremos algunos comportamientos de una variable con referencia a otra.

Los aspectos ambientales se tratarán en el capítulo 8 y finalmente daremos nuestras conclusiones y recomendaciones del estudio de pre-factibilidad de la microcentral hidroeléctrica.

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

Nuestro Perú es un país rico en recursos naturales y tiene una geografía muy privilegiada, sin embargo muchos de los pueblos que alberga se encuentran en zonas aisladas y de difícil acceso. Esto hace que el Sistema Interconectado Nacional tenga un alcance limitado en el suministro de electricidad y se vea reflejado en que aproximadamente el 24% de la población nacional carezca de acceso al servicio eléctrico; esto significa que alrededor de 6,5 millones de peruanos permanecen al margen del desarrollo y modernidad.

Este no es solamente un problema técnico y económico, ya que extender las redes hasta estas localidades no es viable por el bajo consumo eléctrico de la población, sino también se genera una problemática social porque significa privar a muchos de nuestros compatriotas de la oportunidad de desarrollo, los beneficios de la electricidad y por consiguiente, se promueva la migración y el centralismo.

Una de las propuestas que se plantea ante esta amenaza es el desarrollo de alternativas energéticas renovables no convencionales y el uso de recursos naturales de la zona.

En la presente tesis se estudia el aprovechamiento energético del agua de baja potencia para la electrificación de la localidad de San Pedro de Huacos ya que cuenta con este recurso de manera constante y privilegiada respecto a otras opciones.

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía comenzó hace mucho tiempo con el uso de ruedas hidráulicas (ver figura 1.1), éstas acompañaron al hombre aun antes de la llegada del motor a vapor, sin embargo fueron superadas por las turbinas a partir del inicio del siglo XIX. Fuerza motriz y energía eléctrica son los productos energéticos, con que el recurso hídrico contribuye de manera continua con el progreso económico y la mejora de la calidad de vida de la población.



Figura 1.1.- Rueda Hidráulica

El desarrollo de la tecnología ha permitido alcanzar altos niveles de eficiencia en la conversión de la energía hidráulica en energía mecánica y eléctrica así como la construcción de grandes proyectos como la Central Hidroeléctrica de Tres Gargantas en China (ver figura 1.2) cuya potencia instalada es de 18.2 GW, que de acuerdo a

las economías de escala hacen que se abarate el costo de energía. Sin embargo, en el desarrollo de Microcentrales Hidroeléctricas encontramos excepciones a esta regla, ya que, a pesar de la disminución de eficiencias, se logra una ventaja económica por la simplicidad y dimensiones del proyecto.



Figura 1.2.- Vista superior de la Central Hidroeléctrica de 3 Gargantas

### 1.2 Situación actual de desarrollo

Las Microcentrales Hidroeléctricas son instalaciones con niveles de generación entre 10 y 100kW. Estos proyectos gozan de ventajas en términos de costos y simplicidad, comparados con otros de mayores capacidades, debido a distintos procedimientos que se aplican en los pasos de diseño, planificación e instalación.

Recientes innovaciones en la tecnología han hechos que se convierta esta aplicación energética en una opción económicamente viable aún en partes del mundo muy

pobres e inaccesibles. A su vez, es una fuente de potencia versátil, pudiendo generar electricidad y permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos y la distribución de ella a todo un poblado.

Con algunos diseños es posible también obtener fuerza mecánica directamente del eje de la turbina, permitiendo el funcionamiento de maquinarias tales como herramientas para talleres, molinos de granos, y otros equipos de procesamiento de productos agrícolas locales.

### 1.3 Objetivos del estudio

El presente estudio de pre-factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica de San Pedro de Huacos tiene los siguientes objetivos:

1. **Presentar un esquema de planificación** para dotar de energía eléctrica a la localidad y se cuente con un aprovechamiento sostenible del agua.
2. **Mostrar la viabilidad económica** de una alternativa energética al alcance de esta localidad.
3. Estimar el **costo unitario de la energía** generada.
4. **Demostrar la pre-factibilidad** del empleo de Microcentrales Hidroeléctricas para la electrificación de dicha zona, con la finalidad de impulsar una actividad económica en base a un moderado desarrollo agroindustrial y turístico.

#### 1.4 Justificación

En el Perú existe un mercado sustancial para las Microcentrales Hidroeléctricas por la existencia de varios factores:

1. A pesar de tener amplias redes de distribución eléctrica, hay muchas comunidades pequeñas sin electrificar. Aunque existe una demanda por la electrificación, las conexiones de estas comunidades a las redes no es rentable para las empresas eléctricas, debido a los bajos niveles de consumo. Con esta alternativa **podemos satisfacer de manera distribuida los consumos puntuales** de cada localidad.
2. Estas centrales **requieren caudales pequeños**, para lo cual existen numerosas fuentes aprovechables de agua. Muchas veces un manantial o una laguna pequeña provee de agua suficiente para su instalación.
3. La **maquinaria que se usa es pequeña y compacta**. Los componentes pueden ser **fácilmente transportados** a sitios remotos y de difícil acceso.
4. Es posible la fabricación nacional de los equipos. Los principios de diseño y procesos de fabricación son fáciles de aprender. Esta es una **ventaja económica y comparativa para el país**, ya que cuando se construye grandes centrales hidroeléctricas, los equipos se importan de fabricantes extranjeros. Con esta alternativa, **la inversión quedaría distribuida en empresas peruanas** y así generaría más puestos de trabajo.
5. La cantidad de casas que se pueden conectar a cada sistema de este tipo es pequeña (menor de 100 casas). Por lo tanto es relativamente fácil recoger el

capital inicial para la ejecución del proyecto, y eso también **simplifica el manejo del mantenimiento del sistema y el cobro del servicio eléctrico.**

6. Las Instalaciones de este tipo, cuidadosamente diseñadas **tienen costos por kilovatio menores** que instalaciones fotovoltaicas, eólicas y sistemas de generación diesel.

### 1.5 Alcances

El enfoque de este trabajo es la implementación de proyectos hidroeléctricos para la electrificación de pequeños poblados en zonas donde los terrenos tienen **fuertes pendientes y un recurso hídrico aprovechable.** Este enfoque restringe la gama de diseños de turbinas y generadores a los apropiados para desniveles medianos o altos (mayores de 20 metros), y nos exige el uso de generación en Corriente Alterna.

## **CAPÍTULO 2**

### **ENERGÍA Y ELECTRIFICACIÓN**

#### 2.1. Concepto

Se entiende por energía a la capacidad de realizar trabajos, fuerzas, movimientos, etc. No podemos verla directamente pero si vemos sus efectos. Es lo que permite que suceda casi todo en el universo: la vida, el movimiento, la corriente eléctrica, el fuego, el ruido, el viento, la generación de calor y es uno de los elementos más importantes para satisfacer las necesidades básicas humanas. Su utilización va desde la cocción de alimentos hasta el procesamiento de productos industriales.

#### 2.2. Fuentes de Energía

Todas las energías, renovables y no renovables, provienen del sol. Las no renovables se formaron hace millones de años y tienen reservas limitadas.

#### 2.3. Clasificación de las Fuentes de Energía

Se clasifican en energías no renovables y renovables. Las fuentes de energías no renovables son aquellas que existen en una cantidad limitada y que una vez empleadas en su totalidad no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o la producción es demasiado pequeña para resultar útil a corto plazo.

Las fuentes de energía no renovables son: el carbón, el petróleo, el gas natural y la nuclear.

Las energías renovables engloban una serie de fuentes que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas serían una alternativa a las otras llamadas no renovables y producirían un impacto ambiental mínimo ya que son permanentes y forman parte de los recursos naturales. Estas a su vez se clasifican en:

- a. Energías renovables convencionales: constituida por la energía hidráulica de grandes potencias.
- b. Energías renovables no convencionales: constituida por la energía: solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidráulica de pequeñas potencias.

Entre las **principales energías renovables** no convencionales tenemos:

- a. **Energía Eólica:** se transforma de energía cinética obtenida del viento a energía eléctrica a través de aerogeneradores (ver figura 2.1). Solo se puede aprovechar en zonas con vientos fuertes y constantes. Actualmente existen pequeñas instalaciones en todo el mundo, porque la tecnología necesaria esta en desarrollo. Una turbina eólica de 600 kW puede proveer de electricidad a cientos de hogares.



Figura 2.1.- Aerogenerador Vélter D de 500W

- b. **Energía Solar Térmica:** es el aprovechamiento de la radiación del sol para el calentamiento de un fluido (ver figura 2.2), que a su vez se utiliza según su temperatura, en la producción de agua caliente, vapor o energía eléctrica.

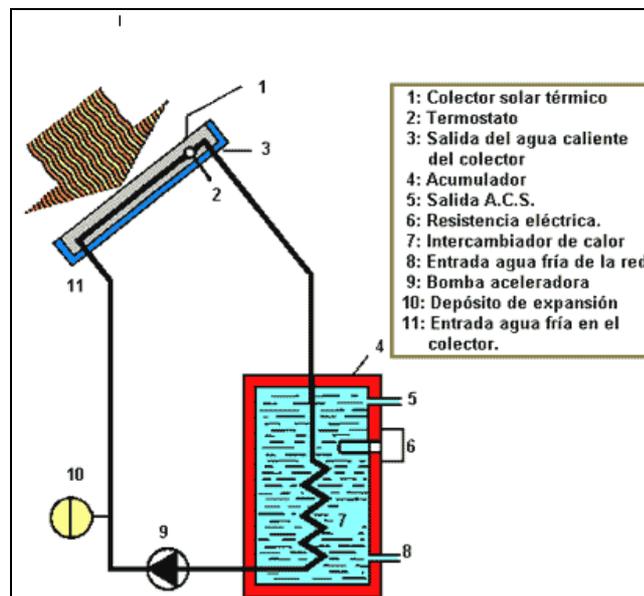


Figura 2.2.- Esquema de funcionamiento de una instalación solar térmica de agua caliente sanitaria

- c. **Energía Solar Fotovoltaica:** es la que aprovecha la radiación solar mediante su transformación directa en energía eléctrica (ver figura 2.3).



Figura 2.3.- Aplicación de paneles fotovoltaicos a las telecomunicaciones

- d. Energía de Hidráulica de pequeña potencia: es la que se producida por centrales hidroeléctricas de potencia inferior a 1MW y cuyas instalaciones transforman la energía cinética de una corriente de agua en energía eléctrica (ver figura 2.4).



Figura 2.4.- Microcentral Hidroeléctrica de Obrajillo, 1MW

- e. Energía Biomasa: es aquella obtenida de residuos forestales (ver figura 2.5) o ganaderos, ya sea a través de la combustión directa o de procesos intermedios de transformación como el bioetanol, biodiesel, biogas y otros.



Figura 2.5.- Recogiendo residuos forestales

- f. Energía Geotérmica: aprovecha el calor de yacimientos de agua subterránea a baja, media o alta temperatura o bien de roca caliente seca para la obtención de agua caliente o vapor (ver figura 2.6).



Figura 2.6.- Central Geotérmica de Ribeira Grande

#### 2.4. Energía eléctrica

La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable

conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

Cada vez que se acciona un interruptor, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través del cable conductor, las cargas que se desplazan forman parte de los átomos de la sustancia del cable, que suele ser metálica, ya que los metales, al disponer de mayor cantidad de electrones libres que otras sustancias, son los mejores conductores de la electricidad.

#### 2.5.Electrificación Rural

Es la dotación de electricidad a usuarios que no cuentan aun con los servicios del suministro eléctrico, en la cual la lejanía, el aislamiento y la poca accesibilidad son característicos de localidades que conforman las zonas rurales y fronteras del Perú.

Este mercado objetivo presenta como primera característica el bajo poder adquisitivo de los usuarios, con una demanda eléctrica reducida y con cargas dispersas que impiden economías de escala.

Esta situación por lo general, determina una baja rentabilidad privada - aunque sí una alta rentabilidad social - para los proyectos de electrificación, en términos de inversión y costos de operación y mantenimiento, lo cual motiva que no sean atractivos a la inversión privada y requieran de la participación activa del Estado.

## 2.6. Tecnologías Utilizadas en la Electrificación Rural

La determinación de tecnologías para el ámbito rural en el país se viene desarrollando sobre un concepto de escalón, donde se considera en primer lugar la extensión de redes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y/o los Sistemas Aislados (SSAA), a partir de las cuales se desarrollan los Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE's).

En caso que exista inconveniencia técnica y/o económica de conectarse a los grandes sistemas eléctricos, se determina como segunda opción, el uso de fuentes de energía hidráulica a través de la construcción de Pequeñas o Microcentrales Hidroeléctricas y en menor grado la instalación de pequeños grupos electrógenos (de uso temporal y/o en casos de emergencia).

La ausencia de recursos hídricos determina a la fuente de energía solar como la tercera alternativa tecnológica para la solución de las necesidades de electrificación rural vía la implementación de los Sistemas Fotovoltaicos (SF) de uso domestico o comunal.

Finalmente la fuente de energía eólica es la cuarta alternativa cuya aplicación por ser relativamente nueva se viene estudiando su uso para fines de electrificación rural. En el actual contexto mundial de la conservación del medio ambiente, se viene consolidando la utilización de las energías renovables y adecuando su aplicación como alternativa de solución a la problemática, en términos económicos, de la electrificación de zonas aisladas.

### 2.7. Avance en la Electrificación Rural del Perú

Como se describió en el subtítulo 2.6 anterior, las líneas de transmisión son la primera opción. Actualmente se viene ampliando el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) así como los Sistemas Aislados, a través de los cuales se transporta energía convencional, sin embargo en algunos casos se encuentran saturados o muy próximos a ello, en este sentido, el Plan de Electrificación Rural nacional identificó 17 proyectos de Líneas de Transmisión y/o Subestaciones asociadas, que requieren un monto de US\$ 120 millones, para construir una longitud de 1 543 km de líneas y el desarrollo de pequeños sistemas eléctricos que ejecutados por etapas, dan origen a 299 proyectos, con una inversión de US\$ 597,7 millones, con los que se beneficiarían a 3,3 millones de habitantes.

Adicionalmente, la instalación de grupos electrógenos en localidades ubicadas en zonas aisladas, es una alternativa de solución de rápida ejecución y de carácter temporal hasta su integración, en los casos que sean factibles, a los sistemas eléctricos en expansión, posibilitando la reubicación de estos grupos en otras localidades con características similares. En esta perspectiva, según la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas, ha identificado en forma preliminar la necesidad de 125 grupos electrógenos (en base a solicitudes de las poblaciones).

Otra de las fuentes de energía no convencional y renovable es la energía solar, para lo cual se cuenta con un Atlas de Energía Solar, que permite contar con información sobre los niveles de radiación solar a nivel de todo el territorio peruano y con

información de promedios mensuales y anuales. Aquí se usan los paneles solares como una alternativa de suministro de energía a localidades rurales y/o comunidades nativas muy aisladas, con bajos consumos de energía, donde no es posible llegar con los sistemas convencionales, para atender las necesidades básicas de energía eléctrica de estas localidades, priorizando las zonas de frontera y la Amazonía.

Otra opción es la relacionada con el uso de la energía de eólica la cual se da principalmente en la costa y en el altiplano, puesto que Perú cuenta con una accidentada geografía y las velocidades y direcciones del viento dependen fundamentalmente de la configuración del terreno. Sin embargo, el Ministerio de Energía y Minas quiere impulsar la utilización de esta energía a través de la instalación de pequeños aerogeneradores, para atender a localidades ubicadas en las zonas rurales y donde las condiciones ambientales permitan la utilización de estos equipos.

Finalmente, de acuerdo al plan nacional de electrificación rural, la Dirección Ejecutiva de Proyectos viene desarrollando visitas técnicas, en coordinación con los gobiernos locales, a fin de evaluar futuros proyectos hidroeléctricos de pequeñas centrales y **se ha previsto para el periodo 2009-2014 la implementación de 30 proyectos adicionales de esta naturaleza los cuales serán identificados y evaluados** para definir la maquinaria electromecánica a ser adquirida. La inversión total para todo el periodo del plan nacional será de US\$ 27 millones.

## **CAPÍTULO 3**

### **CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

#### 3.1. Definición

Es una planta de generación de energía eléctrica basada en el aprovechamiento hídrico, es decir utiliza la energía potencial del agua proveniente de los ríos, lagos y lagunas para convertirla primeramente en energía mecánica y luego en eléctrica.

Para el aprovechamiento se dispone de un sistema de captación de agua, conformado por un conjunto de obras civiles y dispositivos electromecánicos, que provocan y/o generan un desnivel que origina, a su vez, una cierta energía potencial que será aprovechada.

El paso del agua por la turbina, elemento fundamental de esta instalación, desarrolla en la misma un movimiento giratorio que acciona un alternador y produce la corriente eléctrica deseada, que luego se transportará a los centros de consumo mediante redes eléctricas.

Las centrales hidroeléctricas en el Perú tienen una capacidad efectiva de 2784MW y representan el 64.2% del total. Siendo la central de Mantaro la más grande con 650.48MW.

### 3.2. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas que tienen las centrales hidroeléctricas son:

- a. Utilización de un recurso limpio, pues no se contamina el aire ni el agua.
- b. Uso de un recurso renovable.
- c. El costo de producción de energía es bajo y la central tiene una alta eficiencia.
- d. Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.
- e. La operación y mantenimiento son simples.
- f. Pueden combinarse con otros usos como riego, suministro de agua, ornamentación del terreno, etc.

Las desventajas que se presentan en estas obras de ingeniería son:

- a. Usan un recurso completamente irregular y la disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año.
- b. Tienen un alto costo de inversión.
- c. Las grandes centrales se encuentran alejadas de los centros de consumo y exigen la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que se refleja en el aumento de la inversión y costos de mantenimiento.
- d. Por lo general, una central hidroeléctrica requiere de un largo periodo de construcción.

- e. El desarrollo del proyecto es único, ya que para desarrollar otra central se requiere de otro estudio.
- f. Las grandes centrales tienen un riesgo potencial por el volumen de sus instalaciones.

### 3.3. Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según distintos criterios, por ejemplo, según el tipo de aprovechamiento tenemos:

- a. Centrales Hidroeléctricas de pasada, utilizan el caudal de un río, tal y cual éste se encuentre, siendo prácticamente insignificante el período de llenado de su propio embalse por las aportaciones hidráulicas, también se le llama central de agua fluyente.
- b. Centrales Hidroeléctricas con embalse de regulación, permiten un almacenamiento de una cantidad apreciable de agua que se aprovecha posteriormente por la central en la forma más conveniente, permitiendo optimizar la generación. Los embalses en estas centrales permiten la regulación del caudal mensual y anual.

De acuerdo a la potencia generada por la central, podemos tener:

- a. Grandes Centrales hidroeléctricas, desarrollan potencias mayores a 50MW.
- b. Medianas Centrales hidroeléctricas, con potencias de 5MW a 50MW.
- c. Pequeñas centrales, con potencias de 1MW hasta 5MW.

- d. Minicentrales, de 100kW hasta 1MW.
- e. Microcentrales, de 10kW hasta 100kW.
- f. Pico centrales, menores a 10kW.

Nuestro proyecto está dentro de las Microcentrales Hidroeléctricas.

#### 3.4. Centrales Hidroeléctricas de Baja Potencia

Como central hidroeléctrica de baja potencia vamos a identificar a una instalación civil y electromecánica destinada a la producción de energía hidroeléctrica en pequeña escala. Para la electrificación de localidades aisladas, fuera del ámbito de influencia del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y de los Sistemas Aislados (SSAA), se puede desarrollar el uso de otras fuentes de energía sobre la base de utilización de la energía no convencional renovable, para lo cual se prioriza en primer termino la existencia de recursos hídricos con potenciales adecuados.

De acuerdo al plan nacional de electrificación rural, se tiene previsto implementar un total de 58 proyectos de este tipo. Hasta el 2008, se espera implementar un conjunto de 28 centrales hidroeléctricas de baja potencia, contándose para esto con la maquinaria respectiva.

**Dentro de este tipo de centrales de baja potencia tenemos las Microcentrales Hidroeléctricas (MCH)**, cuya importancia práctica y fundamental radica en la posibilidad de desarrollar el proyecto con un equipo técnico reducido y con medios acordes a las posibilidades locales. Esto se debe a que las componentes de las obras

en general son de baja complejidad y en algunos casos se permite incluso considerar en el diseño la posibilidad de falla controlada de algunos componentes.

Una MCH se caracteriza por el empleo de criterios de diseño simple, utilización máxima de elementos locales y operación con poco personal. Estas no necesitan personal de alta calificación ni tampoco de atención permanente.

En la obtención de potencia existe una relación directa entre caudal y salto, por lo que esta clasificación da una idea acerca del tipo y costo de los componentes que la integran la MCH. Así, siempre es correcto suponer que una central de bajo salto va a demandar de mayores caudales para la obtención de potencia. Como directa consecuencia todos los componentes de la obra serán más costosos al demandarse mayores diámetros para manejar el caudal utilizado.

En cuanto a la relación entre el salto y el tipo de equipamiento hidromecánico, se puede también decir que:

1. MCH's de salto bajo corresponden turbinas Axiales.
2. MCH's de salto mediano corresponden turbinas Francis o Michell- Banki.
3. MCH's de alturas elevadas corresponden turbinas Pelton.

Existen algunas otras clasificaciones de las MCH, así pueden encontrarse definiciones que las relacionan con el tipo de captación, su tecnología, el tipo de red a abastecer, etc.

Otra clasificación que resulta de importancia está referida al tipo de regulación:

1. Sin regulación
2. Regulación Manual
3. Regulación por absorción de carga
4. Regulación por control de caudal

Las máquinas sin regulación se utilizan muy poco dado que requieren que el caudal disponible siempre que sea superior al demandado para que la turbina pueda funcionar continuamente y además la energía suministrada debe ser tomada por una demanda constante, ya sea una carga fija o una red que, además de otras fuentes de suministro, siempre tome la potencia nominal de la MCH.

Los métodos de control manual pueden ser aplicados con éxito en demandas sin compromiso importante en los valores de tensión y frecuencia. La instalación debe estar accesible y cercana al operador para el ajuste del controlador de acuerdo a las condiciones de la carga.

El método de control por absorción de carga funciona haciendo generar la máquina a caudal constante, ya que no tiene elementos de control de flujo. La turbina funciona a potencia nominal. La carga que no es tomada por la demanda se disipa en resistencias eléctricas. La principal exigencia del sistema es que necesita contar con el caudal de diseño en todo momento.

El control de caudal resuelve este problema, dado que la máquina cuenta con controles apropiados de acuerdo al tipo de turbina, y por lo tanto puede funcionar a distintos regímenes de caudal. La mayor complejidad en los elementos mecánicos es quien origina el mayor costo de este sistema de control.

Existen sistemas combinados en los que generalmente los desprendimientos instantáneos de potencia son controlados con la inserción de resistencias mientras los controles de caudal operan el cierre del flujo de agua hacia la turbina.

### 3.5.Las MCH's como una opción para la electrificación rural

Entre las diferentes barreras para la ampliación de la cobertura eléctrica en las zonas rurales aisladas se encuentra el alto costo de inversión requerido, ya sea mediante la extensión de la red o creación de pequeños sistemas aislados de generación. Cada uno de estos dos opciones tienen ventajas y desventajas, para ello se requiere de evaluaciones técnicas, económicas y sociales para la elección final. No obstante, es importante tener en consideración los desarrollos efectuados durante los últimos 20 años y la reducción de costos en la implementación, operación, mantenimiento y la creación de nuevos modelos de gestión y organización sobretodo en sistemas aislados.

Dentro de dichos sistemas aislados, la hidroenergía a pequeña escala es una de las mejores opciones, especialmente por el bajo costo de operación y mantenimiento que requiere y ofrece una oferta de electricidad durante las 24 horas del día. Sin embargo, esta opción ha sido postergada muchas veces debido a los altos costos de inversión

inicial. En ese sentido, la ingeniería moderna de MCH's se ha desarrollado de tal forma que, utilizando las técnicas, métodos y tecnologías adecuadas, se puede reducir los costos en porcentajes tan altos que llegan hasta el 50% del costo de sus similares implementados bajo conceptos y métodos convencionales.

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTUDIO DE LA DEMANDA**

#### 4.1. Generalidades

El estudio de la demanda eléctrica es muy importante para el diseño y desarrollo de una Microcentral Hidroeléctrica, ya que sus resultados deben reflejarán un patrón de consumo de la localidad que se desea suministrar y la proyección de esta durante un periodo de tiempo según la necesidad.

Debido a que son zonas rurales aisladas donde las poblaciones se encuentran alejadas de los grandes servicios interconectados y muchas veces aún no cuentan con servicio eléctrico, no es posible aplicar los métodos tradicionales, usados en la estimación de la demanda de una ciudad, como la extrapolación o modelos econométricos en base a indicadores nacionales.

Cada región aislada tiene sus propias características con respecto a densidad y crecimiento poblacional, infraestructura y servicios existentes, recursos naturales y potenciales de producción, etc. Por lo tanto cada región aislada prevista para la electrificación, necesita una evaluación particular de su potencial de desarrollo y su futura demanda de energía eléctrica, tanto en la teoría como en el campo.

#### 4.2. Ubicación y datos de la Zona

El estudio se desarrollará en el pueblo San Pedro de Huacos, distrito de Huaros, provincia de Canta, departamento de Lima, a una altitud de 3565msnm.

Para llegar a Huacos es necesario partir desde Lima a Canta (3 a 4 horas de viaje). Una vez que se llega al distrito de Canta, se tiene 2 opciones para continuar, la primera es a caballo (4 a 5 horas) o alquilando un automóvil (aproximadamente 3 horas de viaje).

Las coordenadas UTM son:

UTM Este X = 437722.2382

UTM Norte Y = 1497277.185

Huso 29 – Hemisferio Sur

Según el último Censo Nacional y encuestas realizadas en la localidad, Huacos tiene una población de 140 habitantes, cuya principal actividad es la agricultura y un incipiente pero creciente desarrollo de turismo. Su dirigente, el señor Luís Soto Lagos, siempre ha trabajado activamente a favor de su localidad.

Esta alberga alrededor de 35 viviendas, una escuela, una capilla, pequeñas empresas rurales y servicio de agua potable. En la figura 4.1 vemos la ubicación geográfica de la localidad.

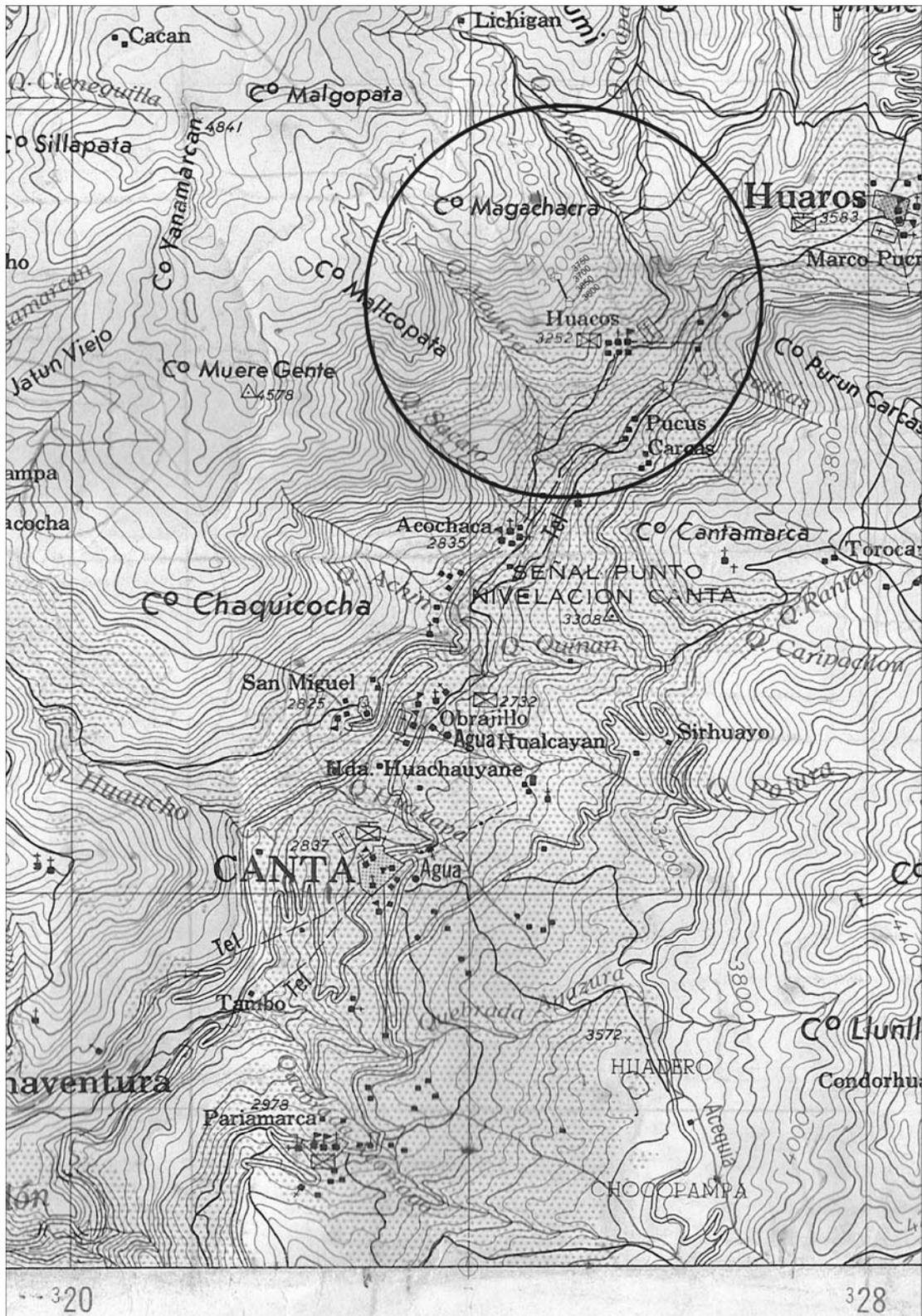


Figura 4.1 Ubicación geográfica de San Pedro de Huacos

### 4.3. Recopilación de Información

El trabajo se realizó en dos fases. La primera fase contempló la preparación de los materiales y herramientas para el estudio de campo, y la segunda fase se refirió al mismo trabajo in situ.

#### 4.3.1. Trabajo en teoría, esta fase contempló los siguientes pasos:

- a) Búsqueda de mapas de ubicación y topografía de la zona de trabajo, para ello se trabajó con el **mapa cartográfico IGN-J631** del Instituto Geográfico Nacional (escala 1:100000). Adicionalmente se utilizaron **Tecnologías de la Información como Google Earth** (ver figura 4.2) para observar la topografía en tiempo real vía Internet.
- b) Ubicación e identificación de las vías de acceso y las facilidades de transporte, en nuestro caso existe **sólo una ruta** para llegar en automóvil. Sin embargo, otra opción sería a pie o en caballo.
- c) Ubicación y levantamiento de información estadística sobre población de las localidades involucradas en el proyecto, número de viviendas, servicios básicos existentes y otros, para ello se cuenta **con los datos de INEI** que se encuentra en su portal Web y adicionalmente tenemos un **estudio de la cuenca del río Chillón**, elaborado por el Centro de Información y Desarrollo Integral de Autogestión.
- d) Preparación de fichas de encuestas, las cuales se aplicaron al 25% de la población para obtener algunos **datos de consumo** como velas y pilas, y cuanto gastaban mensualmente en ellas.

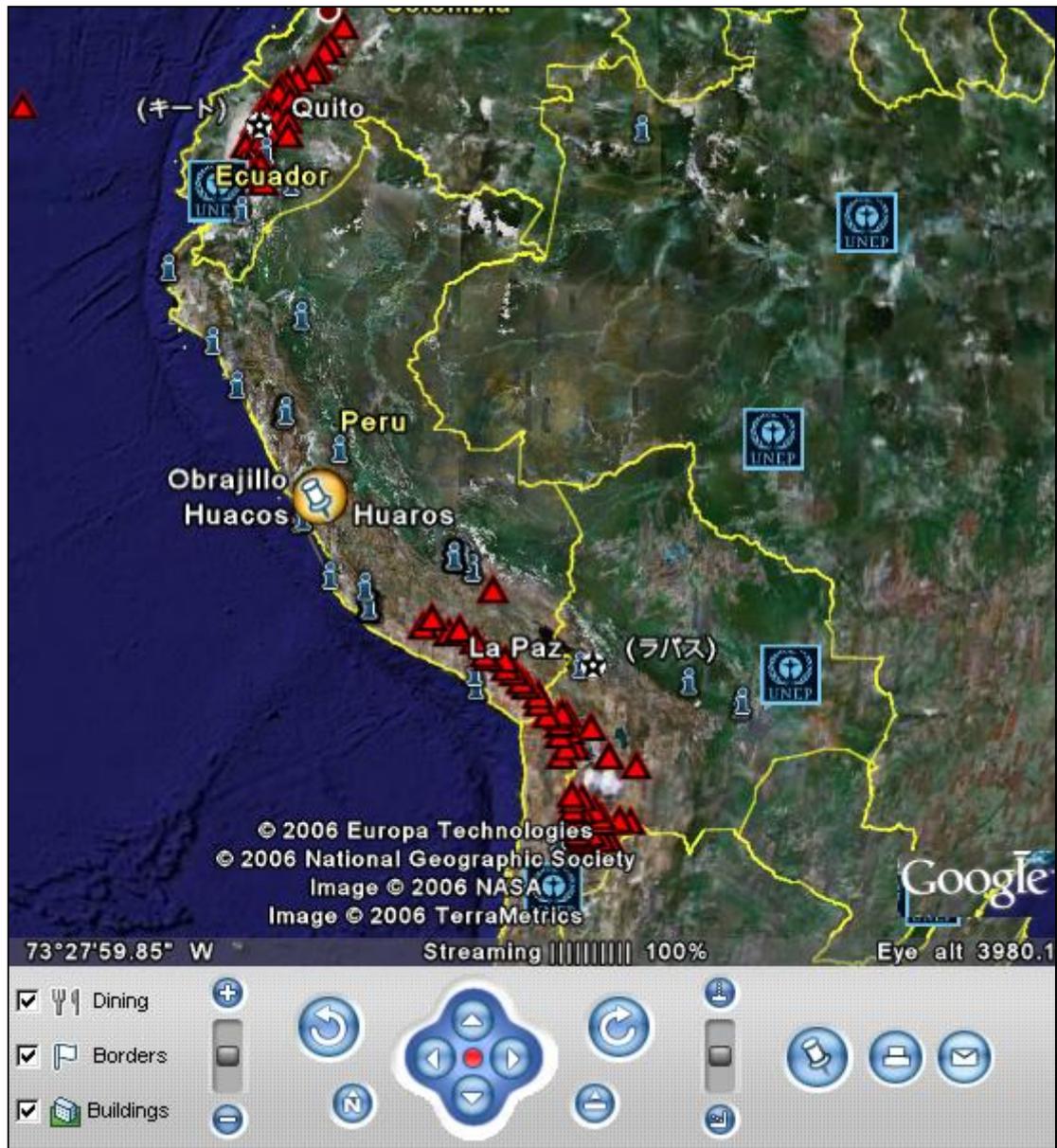


Figura 4.2 Google Earth nos permite obtener imágenes de la Tierra y datos geográficos.

Visite <http://earth.google.es/>

4.3.2. Trabajo de campo, esta fase contempla los siguientes pasos:

- a) **Coordinación con las autoridades**, líderes locales y representantes de las organizaciones de base, para ello contamos con el apoyo del dirigente: Sr. Soto Lagos

- b) Entrevistas a las autoridades para **conocer sus planes de desarrollo**, en nuestro caso vemos que se tiene en mente la creación de una zona turística y el desarrollo de la pequeña empresa rural.
- c) **Evaluación del grado de organización** de las diferentes instancias que participan en el proceso. Huacos es un poblado pequeño y se ha observado la fácil coordinación con los pobladores mediante visitas.
- d) **Aplicación de las encuestas**, para poder contrastar algunos datos.
- e) **Identificación de las instituciones** públicas, servicios básicos existentes, negocios e industria. Huacos cuenta con una escuela, capilla y servicio de agua potable, se va a requerir una oferta energética para los proyectos que se van a realizar.

#### 4.4. Estimación de la Demanda Actual

Con el fin de identificar la demanda actual de la comunidad de Huacos, se debe conocer información que refleje el consumo energético. Para ello sabemos que tiene una población actual de 140 habitantes, la tasa de crecimiento considerada según INEI es de 0.5% para esta zona, el número de viviendas es 35 y se proyecta implementar industria rural y un hospedaje que albergue turistas. Adicionalmente se muestra una forma aún más sencilla en el anexo 2.

En pequeños sistemas aislados rurales, por lo general la estimación de la demanda se realiza en base a la demanda máxima de potencia. Para el presente proyecto usaremos el método recomendado por el Grupo de Desarrollo de Tecnología Intermedia, donde consideran 4 tipos de cargas con las siguientes consideraciones:

- a) **Demanda residencial**, se estima una potencia de 250W por vivienda. Se toma en cuenta su ubicación geográfica, tamaño promedio de las viviendas, número y tipo de focos a utilizar, equipos electrodomésticos y otros.
- b) **Alumbrado público**, esta carga esta compuesta por el número de luminarias que se quiere instalar para este servicio.
- c) **Demanda institucional**, se estima una potencia en base a las instituciones existentes (escuelas, postas de salud, municipio, local comunal, iglesia, hospedajes, etc.)
- d) **Demanda industrial**, se basa en las “industrias” actuales y futuras, además de su posible tecnificación con el apoyo de la energía eléctrica (bodegas, carpinterías, aserraderos, molinos, peladoras de arroz, etc.). En pequeños centro poblados, esta demanda es mínima sin embargo de acuerdo a las características del centro poblado, su ubicación, su producción, etc. se puede estimar una demanda de potencia.

Con toda esta información se llena una tabla en la que se incluirá factores de simultaneidad y de uso. No todas las demandas se producen simultáneamente y el consumo variará durante el día, esto nos lleva a considerar una demanda diurna y una nocturna. Adicionalmente los dos factores mencionados:

- **Factor de simultaneidad** (fs): Posibilidad de que un número de usuarios utilicen el mismo equipo en el mismo momento, varía entre 0 y 1.
- **Factor de uso** (fu): La intensidad en el uso de los equipos, varía entre 0 y 1.

#### 4.5. Cálculo de las cargas

**Demanda Residencial:** multiplicamos el número de viviendas por la potencia instalada estimada de cada una:

$$DR = V \times PIV$$

Donde:

DR: Demanda Residencial

V: Número de viviendas

PIV: Potencia instalada por vivienda

En 35 viviendas y con una potencia instalada de 250W/vivienda, tenemos una Demanda Residencial de 8750W

**Alumbrado Público:** multiplicamos el número de lámparas por su potencia a considerar:

$$AP = L \cdot PL$$

Donde:

AP: Demanda de Alumbrado Público

L: Número de focos de alumbrado público

PL: Potencia de cada lámpara

Para 15 lámparas y una potencia de 100W/lámpara, tenemos una demanda de alumbrado público de 1500W

**Demanda Institucional:** para hallar esta demanda tenemos los datos de la tabla 4.1.

<b>Cargas Institucionales</b>	<b>Potencia</b>
Capilla	500W
Escuela	1000W
Albergue turístico	1500W
<b>TOTAL</b>	<b>3000W</b>

Tabla 4.1.- Cargas Eléctricas Institucionales obtenidas en la visita a la localidad

**Demanda Industrial:** para hallarla nos basamos en los datos de la tabla 4.2.

<b>Cargas Industrial</b>	<b>Potencia</b>
Molino de Granos	2000W
Taller de carpintería	3000W
<b>TOTAL</b>	<b>5000W</b>

Tabla 4.2.- Cargas Eléctricas Industriales obtenidas en la visita a la localidad

Finalmente consideramos los factores de simultaneidad y uso iguales para simplificar cálculos y usamos la tabla 4.3.

Cargas	Carga Diurna		Carga Nocturna	
	Fs	Fu	Fs	Fu
Demanda Residencial	0.20	0.20	0.75	0.75
Alumbrado Público	0.00	0.00	1.00	1.00
Demanda Institucional	0.50	0.50	0.20	0.20
Demanda Industrial	0.80	0.80	0.00	0.00

Tabla 4.3.- Factor de Simultaneidad y de Uso. Estos datos fueron obtenidos de en base a la vida diaria de la localidad y comparados con otros Estudios de Demanda

Cargas	Carga Diurna				Carga Nocturna			
	P	Fs	Fu	DD(W)	P	Fs	Fu	DN(W)
<b>Demanda Residencial</b>	8750	0.20	0.20	<b>350</b>	8750	0.75	0.75	<b>4922</b>
<b>Alumbrado Público</b>	1500	0.00	0.00	<b>0</b>	1500	1.00	1.00	<b>1500</b>
<b>Demanda Institucional</b>	3000	0.50	0.50	<b>750</b>	3000	0.20	0.20	<b>120</b>
<b>Demanda Industrial</b>	5000	0.80	0.80	<b>3200</b>	5000	0.00	0.00	<b>0</b>
<b>TOTAL</b>				4300				6542

Tabla 4.3.- Cargas Diurnas y Nocturnas de las 4 demandas principales de la localidad.

Ahora en la tabla 4.4 se muestra las cargas y las horas en que estarán conectadas:

HORA	CARGAS				
	DR(W)	AP(W)	DINST(W)	DIND(W)	TOTAL(W)
00-02	350	1500	120	0	1970
02-04	350	1500	120	0	1970
04-06	350	1500	120	0	1970
06-08	350	0	750	3200	4300
08-10	350	0	750	3200	4300
10-12	350	0	750	3200	4300
12-14	350	0	750	3200	4300
14-16	350	0	750	3200	4300
16-18	350	0	750	3200	4300
18-20	4922	1500	120	0	6542
20-22	4922	1500	120	0	6542
22-24	350	1500	120	0	1970

Tabla 4.4.- Cargas necesarias para la elaboración del diagrama de carga diario de la localidad

Con estos datos construiremos nuestro diagrama de carga diario:

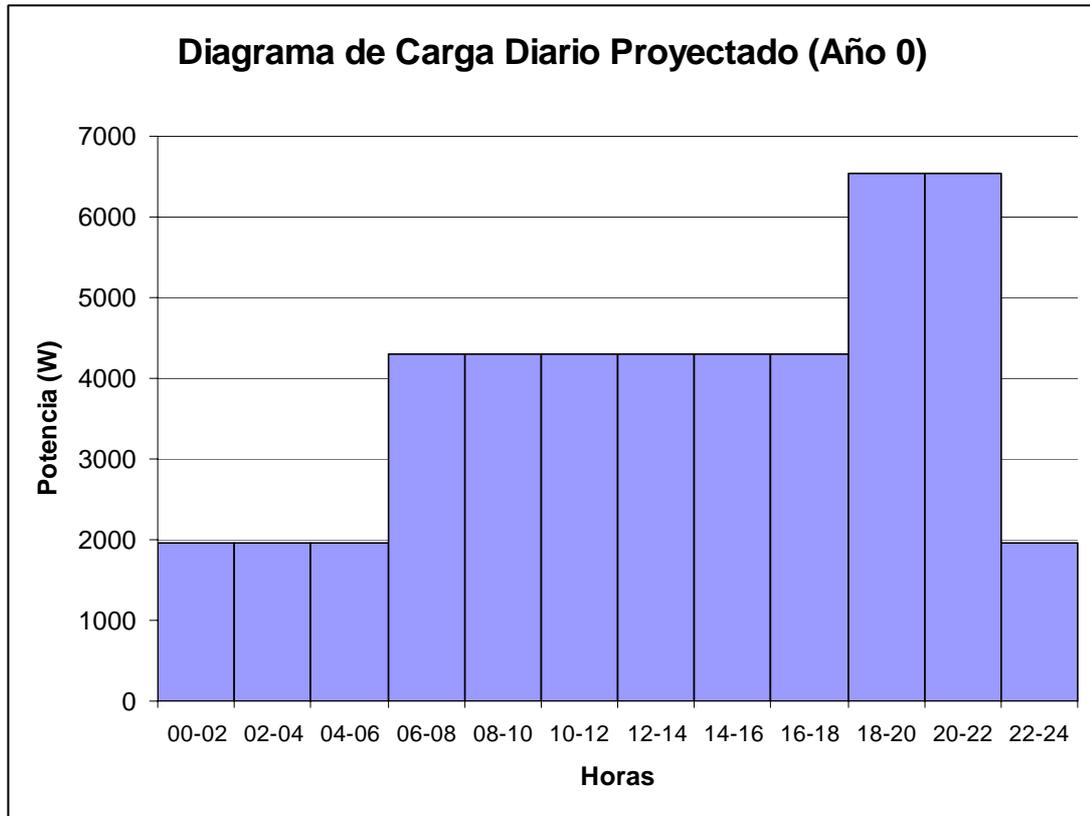


Figura 4.3.- Diagrama diario de carga para el año 0

De acuerdo al diagrama de carga tenemos una demanda máxima de 6542 W. A este resultado le agregamos un 5% por pérdidas en las redes eléctricas. Finalmente la demanda actual a considerar en el diseño del sistema sería 6870 W.

La energía que se consumiría diariamente sería de 93.5 kWh y la potencia media de 3897 W. Si asumimos que la central se paralizará por 4 semanas para el mantenimiento anual se tendría 335 días de actividad y la energía consumida anual sería de 31332 kWh.

#### 4.6. Estimación de la Demanda Futura

Es el pronóstico del crecimiento de la demanda potencial o actual en energía y/o potencia en un periodo de tiempo preestablecido por el diseñador del sistema de la microcentral hidroeléctrica.

Un método sencillo para la estimación de la demanda futura es la aplicación de fórmulas estadísticas que incluyen como variables la demanda actual, la tasa de crecimiento y el número de años de proyección.

El método considera un crecimiento uniforme a lo largo del periodo considerado.

Para ello usamos la siguiente fórmula:

$$P_n = P_o(1 + i)^n$$

Donde:

$P_n$  = Potencia proyectada al año “n” (kW)

$P_o$  = Potencia estimada para el año “0” (kW)

$i$  = Índice o tasa de crecimiento considerado

$n$  = Número de años de proyección (15 años)

Para hacer la proyección usaremos una tasa de crecimiento de 0.5% (por efectos de migración) para la demanda residencial y el alumbrado. En el caso de las demandas institucionales e industriales las mantendremos constantes para una inicial evaluación con economía estacionaria.

En la tabla 4.5 veremos la proyección de la demanda durante los siguientes 15 años:

AÑO	RESIDENCIAL		ALUMBRADO PUBLICO		INSTITUCIONAL		INDUSTRIAL	
	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)	Potencia (W)	Energía (kWh)
0	8750	9181	1500	6192	3000	3591	3000	13210
1	8794	9227	1508	6223	3000	3591	3000	13210
2	8882	9319	1523	6285	3000	3591	3000	13210
3	9016	9460	1546	6380	3000	3591	3000	13210
4	9197	9650	1577	6509	3000	3591	3000	13210
5	9430	9894	1617	6673	3000	3591	3000	13210
6	9716	10194	1666	6876	3000	3591	3000	13210
7	10061	10557	1725	7120	3000	3591	3000	13210
8	10471	10986	1795	7410	3000	3591	3000	13210
9	10952	11491	1877	7750	3000	3591	3000	13210
10	11512	12078	1973	8146	3000	3591	3000	13210
11	12161	12760	2085	8606	3000	3591	3000	13210
12	12911	13547	2213	9137	3000	3591	3000	13210
13	13776	14454	2362	9749	3000	3591	3000	13210
14	14772	15499	2532	10454	3000	3591	3000	13210
15	15920	16703	2729	11266	3000	3591	3000	13210

Figura 4.5.- Proyección de la Demanda a 15 años

Ahora, con las potencias para el año 15 y los factores mencionados anteriormente, desarrollaremos el diagrama de carga para este año y se muestra en la figura 4.4.

Se observa que la máxima demanda para el año 15 será de 11804 W. A este resultado le agregamos un 5% por pérdidas en las redes eléctricas. Finalmente la demanda al año 15 a considerar será 12394 W.

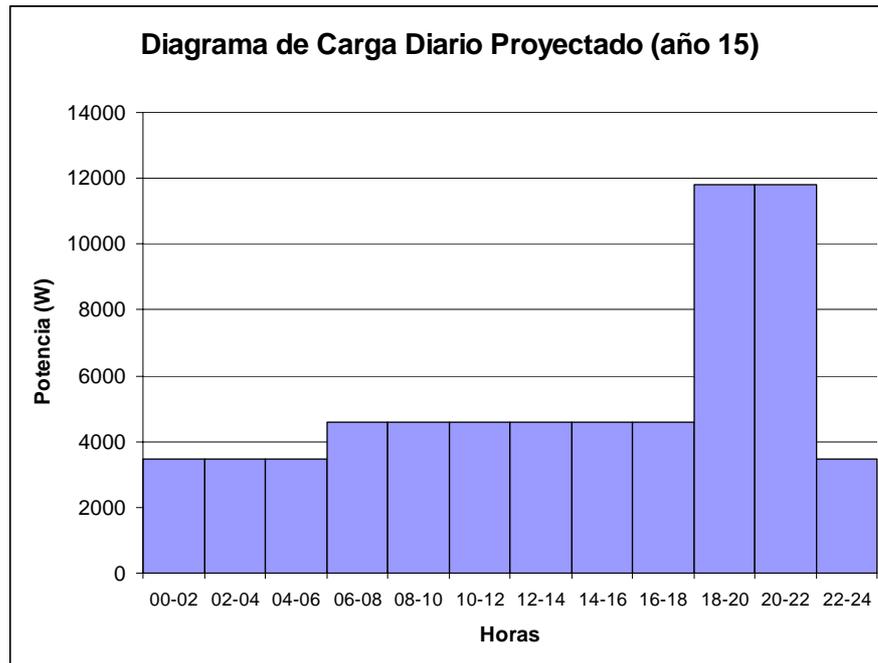


Figura 4.4.- Diagrama de carga diario para el año 15

La energía consumida diariamente en este año será de 130 kWh, la potencia media será 5423 W y la energía consumida anual será de 43598 kWh. Se requiere una potencia de 12.4kW para satisfacer la demanda durante los 15 años siguientes.

## **CAPÍTULO 5**

### **ESTUDIO DE LA OFERTA ENERGÉTICA LOCAL**

#### 5.1. Búsqueda de Recursos

Existen diversas opciones para abastecer a San Pedro de Huacos con energía eléctrica, la primera opción es el uso de energía solar, por lo general sería un trabajo casa por casa y se tendría que desarrollar un plan de ahorro energético para aprovechar al máximo la producción de energía. Con esta opción se presentan dos dificultades, ya que no habría un abastecimiento continuo durante todo el día y los pobladores deberían estar capacitados para el cambio de baterías y operación del sistema.

La segunda opción es la energía eólica, sin embargo los altos costos del aerogenerador y la intermitencia de ésta generarían dificultad.

La tercera opción es el aprovechamiento del agua pero el río Chillón no pasa por el poblado. Sin embargo el agua que alimenta este poblado viene de la laguna Yanacocha por medio de un canal y una tubería que abastecen todo el año a la localidad. Esto nos dio un indicio para aprovechar el caudal y el salto existente. Es decir, estaríamos frente a un proyecto de doble aprovechamiento y podría ser rentable debido a que ya existen obras civiles.

En la tabla 5.1 veamos una comparación de las alternativas 1, 2 y 3 que son las principales energías renovables de mayor difusión actualmente:

<b>Alternativa</b>	<b>Costo (US\$/kW)</b>	<b>Costo (US\$/kWh)</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Solar PV	12000-15000	1.5-3.0	Modular, tiene nichos de mercado importantes	Alto costo poca energía
Micro eólica	5000-10000	0.4-0.8	Tecnología insipiente, posible de ser local	Áreas de aplicación restringida
Micro hidráulica	2000- 2500	0.15-0.30	Existe tecnología local de bajo costo	Área restringida de aplicación

Tabla 5.1.- Cuadro Comparativo de Energías Renovables usadas en la actualidad

De esta tabla justificamos que la opción hidráulica es más rentable en costo de energía y potencia instalada, además el área es apropiada para su aprovechamiento.

Como otras opciones tenemos el uso del biogás, pero en esta zona el uso de la materia prima requerida, se necesita en la construcción de viviendas y la cantidad producida no abastecería la demanda. También podría usarse grupos diesel pero a pesar de tener un bajo costo inicial, se debe contar con tanques de almacenamiento y el principal problema sería llevar el combustible a la zona pues incrementaría los costos y con el tiempo no sería una solución rentable.

## 5.2. Aprovechamiento Hidroeléctrico

En una obra de aprovechamiento hidroeléctrico el factor fundamental es la permanencia y cuantía del caudal utilizable. En el análisis diario, semanal y mensual, debe lograrse un balance positivo entre la demanda de energía y el caudal de agua disponible.

En general, para una Microcentral Hidroeléctrica debe buscarse el aseguramiento de un caudal de agua mínimo con una permanencia del 90%. **Cuando el caudal disponible es superior al necesario en todas las épocas del año, no es necesario tomar mayores recaudos.** Las obras civiles pueden ser tan económicas como lo permita la topografía del lugar de implantación y al poder ajustarse todas sus dimensiones a un mínimo, su costo final será viable.

Pero cuando el caudal normal de agua se encuentra cercano al nominal necesario, con períodos en los que el mínimo se encuentra por debajo de los requerimientos, entonces se hace necesario estudiar la posibilidad de regulación del embalse.

Una regulación del embalse, aunque sea diaria, origina incrementos en los costos que habrá que contrastar con otras soluciones posibles como la acumulación de energía en baterías. El objetivo de las obras de regulación es el de acumular agua en el embalse en horas de bajo consumo de energía para proceder a su utilización durante las horas de mayor demanda. En la decisión de esta y las demás componentes de la central es de primordial importancia conocer el caudal disponible con la mayor exactitud posible.

La oferta hidráulica debe integrarse en sistemas eléctricos que operan grandes módulos de potencia, sin embargo debemos preguntarnos: ¿Qué papel tiene la generación hidráulica en pequeña escala? Para responder a esta pregunta debemos considerar la relación entre el desarrollo de los sistemas eléctricos y la distribución de la población.

Los sistemas eléctricos interconectados han resuelto el abastecimiento de los centros urbanos y han penetrado parcialmente en las áreas rurales. A pesar de esto, aún quedan áreas geográficas sin servicio eléctrico y la población rural que las habita se encuentra mayoritariamente en situación de pobreza y pobreza extrema, con niveles de actividad económica de subsistencia y altos índices de necesidades sociales básicas insatisfechas.

Es decir, existe una relación directa entre las condiciones socioeconómicas de esta población y la ausencia de una demanda que se exprese en términos de mercado para promover su abastecimiento. América Latina, Asia y África concentran esta población sin servicio eléctrico.

De los 6000 millones de habitantes que poblaban el planeta al finalizar el siglo XX, había 2000 millones, que no contaban con servicio eléctrico. Hoy en día las proporciones son semejantes, con una leve tendencia a agravarse. Si ésta es la cruda realidad de fin de siglo, es mas grave aún la perspectiva futura.

Para el año 2020 cuando la población mundial se acerque a los 9000 millones, si los gobiernos no toman acciones para corregir lo que el mercado no resolverá, se estima que la población sin servicio eléctrico crecerá a 4000 millones.

Estas áreas rurales con pobladores alejados de las redes de distribución, con requerimientos energéticos insatisfechos, constituyen el ámbito principal donde la pequeña y micro hidrogenación eléctrica encuentra su aplicación potencial, en tanto se cuente con recursos hídricos locales suficientes. En la figura 5.1 vemos un diagrama del potencial Hídrico Mundial.

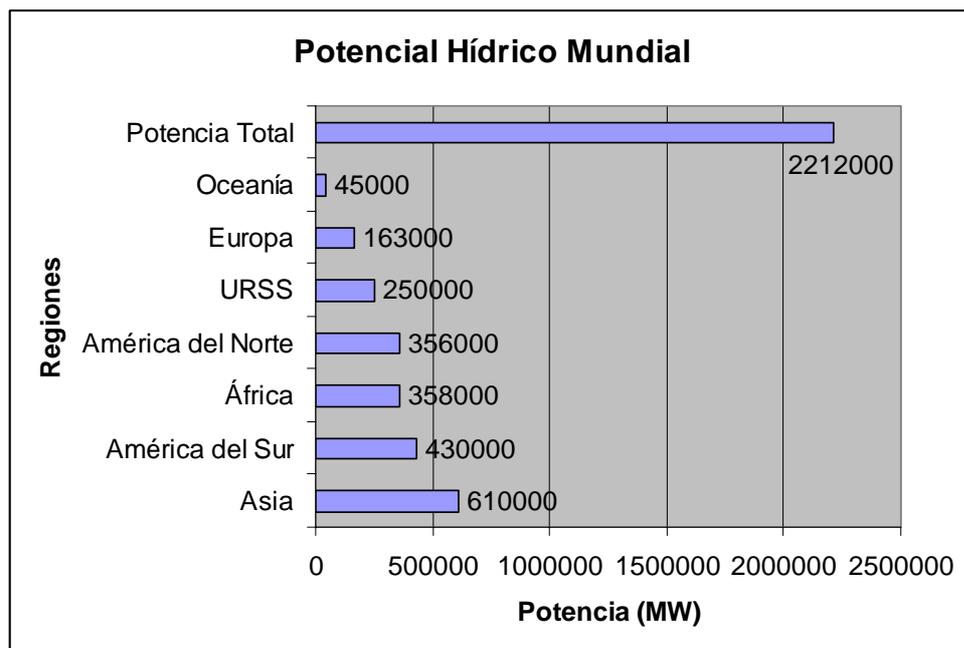


Figura 5.1.- Potencial Hídrico Mundial, América del Sur ocupa el segundo lugar

### 5.3. El Recurso Hídrico

Un recurso hidráulico necesita, para generar electricidad, un determinado caudal y un cierto desnivel. Se entiende por caudal la masa de agua que pasa, en un tiempo determinado, por una sección del cauce y por el desnivel, o salto bruto. Este salto

bruto es la distancia medida en vertical que recorre la masa de agua desde un punto superior y en un punto donde se restituye al río el caudal ya turbinado. En la figura 5.2 el agua, al fluir desde el punto A al punto B, y sea cual sea su recorrido intermedio (el propio curso de agua, un canal o una tubería forzada) pierde energía potencial de acuerdo con la ecuación:

$$P = 9.8QH_b$$

Donde:

P es la potencia, en kW

Q es el caudal medido en m<sup>3</sup>/s

H<sub>b</sub> es el salto bruto en m

9.8 es una constante de la ecuación

El agua, en su caída, puede seguir el cauce del río, en cuyo caso el potencial se disipará en fricción y turbulencia, o puede circular por una tubería en cuya extremidad está instalada una turbina. En el segundo supuesto la masa de agua disipará su potencia en vencer la fricción para poder circular por la tubería y en atravesar los álabes de la turbina.

Es precisamente este último componente de la energía potencial el que hace girar la turbina y generar así energía eléctrica. Un buen diseño será aquel que minimice la disipación de energía durante su recorrido entre A y B (figura 5.2), para que sea máxima la potencia disponible para accionar la turbina.

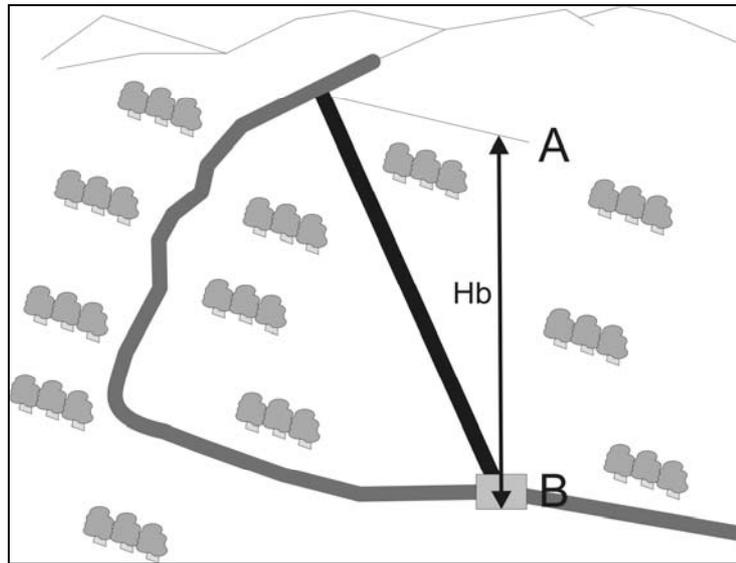


Figura 5.2.- Salto Bruto Hb entre A y B

Para valorar el recurso hídrico hay que conocer como evoluciona el caudal a lo largo del año. **Para estudios de pre-factibilidad podemos tomar datos en época de estiaje que garantice el caudal mínimo, adicionalmente hay que saber el salto bruto del que se dispone.** No es fácil sin embargo que, dado el tamaño de los ríos sobre los que se construyen estos aprovechamientos, puedan encontrarse registros de caudales para el tramo en cuestión.

Si no existen habrá que acudir a la hidrología, que nos permitirá conocer con suficiente aproximación, bien sea por medición directa o indirecta, bien sea por cálculo a partir de los factores climáticos y fisiográficos de la cuenca de captación.

El primer paso a dar será el de averiguar si existen datos de caudales para el tramo de río en estudio o para otros tramos del mismo río, con las que podemos reconstruir el régimen de caudales y en último termino habrá que obtener los factores climáticos con los que calcularlo.

#### 5.4. Aprovechamiento de sistemas de riego y canales para Usos Energéticos

La conducción de agua a una localidad se suele plantear como una serie de obras civiles en donde finalmente una tubería y/o canal conducen el agua desde una laguna, embalse o reservorio a la estación de tratamiento o tanque de almacenamiento, y es en cuya entrada donde se puede instalar la casa de máquinas para aprovechar la energía potencial.

**En nuestro caso, el agua que alimenta a San Pedro de Huacos proviene de la laguna Yanacocha la cual brinda de agua a las casas y a las tierras de cultivo de la localidad.** La ventaja para este aprovechamiento es que durante todo el año se mantiene casi constante el nivel de caudal y las obras civiles de captación y conducción están realizadas

#### 5.5. Potencial Hidroenergético de la Zona

La información base que se dispone para el aprovechamiento energético del agua es que su principal abastecedor es la laguna de Yanacocha con capacidad de 8000000 m<sup>3</sup>. El caudal promedio de 25 l/s es prácticamente constante debido a que existe una obra de captación y canalización de respaldo. Adicionalmente se realizaron las medidas del desnivel y obtenemos un salto aprovechable de 90m. Con todo esto tenemos lo siguiente:

Caudal promedio en estiaje: 0.025 m<sup>3</sup>/s

Salto bruto: 90 m

Potencial hidráulico: 22 kW

Se recomienda para trabajos posteriores, un posible estudio de afianzamiento hídrico y adoptar un esquema de aprovechamiento que permita implementar por etapas la capacidad de la microcentral hidroeléctrica. (Ver anexos 3 y 4)

#### 5.6. Demanda VS. Oferta

Del estudio de la demanda y oferta vemos que hay una mayor oferta y por lo tanto se puede cubrir sin la necesidad de instalar un reservorio. Con todo esto, si tenemos una demanda de 12.4 kW y una eficiencia total de 62%, nuestra potencia instalada para cubrir la demanda y las pérdidas es 20kW, entonces:

Caudal de diseño: 0.025 m<sup>3</sup>/s

Salto bruto: 90 m

Potencia Instalada: 20 kW

Eficiencia total: 62 %

## CAPÍTULO 6

### PLANIFICACIÓN Y ASPECTOS TÉCNICOS

#### 6.1. Aspectos Preliminares del Proyecto

Es importante ver ciertos aspectos antes de realizar el proyecto de generación ya que debe servir de enfoque de interés para los clientes o comunidades, se deben tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

##### 6.1.1 Ubicación accesible

Se debe buscar un lugar que sea fácilmente accesible, para minimizar los gastos de viajes, para una ágil instalación de la microcentral y poder visitarla en caso que ocurran problemas con las instalaciones.

También debe tener accesibilidad para los clientes y socios capitalistas, se recomienda escoger preferentemente distritos que estén cercanos y accesibles a los futuros clientes/usuarios de la central y a su vez sea accesible a los socios, para que todas estas personas claves puedan visitar y conocer el proyecto. **La ventaja de nuestro proyecto es que esta cerca de Lima y podemos llegar en pocas y el costo de transporte es relativamente menor que si fuese en otro departamento.**

### 6.1.2 Ubicación Especial

Se deben evitar los “retos” técnicos e identificar un sitio en donde no se requieran obras civiles complicadas para transportar el agua, que se tenga un caudal suficiente, un desnivel apropiado para la instalación de la casa de máquinas.

Se recomienda que sea cercana a los usuarios de la electricidad, es decir, buscar que la distancia entre el proyecto y las líneas de distribución eléctrica sean cortas, de esta manera se minimizan los costos de construcción y mantenimiento de las líneas. Además se disminuyen las pérdidas eléctricas en la distribución.

Seleccionar un sitio donde la cantidad de usuarios sean pocos, para que el requerimiento de potencia sea pequeño; eso disminuye el riesgo. Con pocos usuarios, también se hace más fácil la organización y el manejo del proyecto. Las viviendas pueden ser 40 o 50 aproximadamente.

Una comunidad bien organizada, además es importante que los beneficiarios del proyecto sean de una comunidad armoniosa, sin divisiones ni conflictos, y también que estén motivados a tener electricidad y dispuestos a contribuir con mano de obra para minimizar costos y si se puede con dinero para la realización del proyecto.

Finalmente, si esta cercano a un camino, se debe escoger un sitio que facilite la llegada de la gente, para que conozcan el proyecto y hagan propaganda favorable al trabajo.

## 6.2 Planificación del Proyecto

A continuación se muestran los pasos a seguir para la planificación del proyecto y como lo aplicaremos en nuestro estudio de prefactibilidad:

### 6.2.1 Estimado de Costos y Disponibilidad de Equipos

Verificar las fuentes de los componentes y equipos que se van a necesitar, especialmente las turbinas, los generadores y los controladores de velocidad y frecuencia. Para los equipos disponibles, conocer los rangos de caudales, desniveles, y potencias apropiados.

Obtener un costo aproximado de todos los equipos y materiales requeridos, o de instalaciones parecidas. En caso de no obtener costos de referencia, puede calcularse un monto total aproximado para el proyecto en base a un costo unitario de \$2500 /kW.

### 6.2.2 Respuesta de la demanda

Determinar si hay:

- a) Deseo local para la electricidad y/o potencia mecánica.

- b) Disposición de pagar de los posibles usuarios.
- c) Capacidad local para manejar y administrar el proyecto construido.

#### 6.2.3 Estimación de la Potencia Disponible

Hacer estimados preliminares de los caudales y desniveles disponibles en la zona, para determinar si es probable encontrar condiciones adecuadas para un proyecto de este tipo.

#### 6.2.4 Estimación de la Demanda

Estimar la cantidad de casas ubicadas dentro de un radio de 1km de la central y cuántas estarían dispuestas a pagar el servicio de electricidad. Un kilómetro es la distancia sobre la cual la electricidad puede ser transmitida fácil y económicamente.

Suponer valores de los costos de capital (la inversión inicial), y los de mantenimiento y operación del sistema, para calcular la tarifa adecuada que se tendrá que cobrar por el servicio, y también el costo que se cobrará a cada usuario.

#### 6.2.5 Estimación de la Demanda Empresarial

Examinar qué actividades en la comunidad, requieren de mucha fuerza humana y/o mucho tiempo de los beneficiarios, y que podrían

realizarse mejor aprovechando la potencia mecánica o eléctrica de la central.

#### 6.2.6 Estimación del Tamaño y Costo del Generador

Estimar el tamaño y potencia del generador que se requerirá para cubrir la demanda eléctrica. Estimar el costo en base a la información recogida en el paso 1 descrito

#### 6.2.7 Verificación preliminar de viabilidad

Escoger una potencia favorable, en base a los levantamientos de la demanda y la oferta. Después de comparar los probables ingresos anuales con el costo del capital (inversión inicial), se tendrá los siguientes indicadores de viabilidad:

- Si el probable ingreso anual es menor al 10% del costo de inversión inicial, entonces el proyecto no es viable.
- Si el ingreso anual está en el rango de 10% a 25% de la inversión inicial, entonces el proyecto puede ser viable.
- Si el ingreso anual es mayor del 25% de la inversión inicial, entonces el proyecto sí es viable.

Es importante agregar aquí que en muchos proyectos han intervenido subvenciones por parte del estado u organismos no gubernamentales.

#### 6.2.8 Definir caudal de diseño y salto

Tener una combinación de caudal y desnivel apropiados para generar la cantidad de potencia requerida. Habrá que presumir un valor de eficiencia del sistema. En caso de duda, suponer una eficiencia global del sistema de 62% a 65%.

#### 6.2.9 Reunión con la comunidad

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

Presentar toda la información en carácter de “estimados”. Sobreestimar los costos, y subestimar la potencia disponible. Plantear las opciones de propiedad del proyecto (individual, grupo, comunidad), explicando las responsabilidades y también las posibilidades para el financiamiento del proyecto. No se proceda al levantamiento y diseño detallado del proyecto mientras no haya acuerdo local en cuanto a la forma de propiedad y de financiamiento del proyecto.

#### 6.2.10 Proyecto detallado

Llevar a cabo un levantamiento detallado del sitio. Ver si hay suficiente desnivel para garantizar la potencia requerida, si se necesitará de una larga tubería, si se podrá contar con un caudal

adecuado todo el año, o se requerirá de obras para almacenamiento de agua.

#### 6.2.11 Cálculo final de la Potencia

Ajustar el estimado preliminar del tamaño del generador (del Paso 6), en base a la nueva evaluación de la potencia hidráulica del sitio.

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

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

#### 6.2.12 Mapa a escala

Dibujar un mapa o plano del sitio a escala.

#### 6.2.13 Esquema de las Obras

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

#### 6.2.14 Revisión del Esquema

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

#### 6.2.15 Elaboración del Presupuesto

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

Componentes del proyecto:

Obras civiles

Tuberías,

Turbina y Generador,

Líneas de distribución eléctrica,

,y Otros.

Buscar siempre proveedores que ofrezcan precios favorables y que los materiales sean de calidad. Se puede negociar descuentos con los proveedores, basados en las cantidades de materiales que se van a comprar.

#### 6.2.16 Viabilidad Financiera

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

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

#### 6.2.17 Contratos con los clientes

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

6.2.18 Financiamiento

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

6.2.19 Solicitud y transporte de Materiales

Colocar los pedidos de materiales y equipos, y transportarlos al lugar donde se desarrollará la central

6.2.20 Etapa de Construcción

Construir las obras civiles e instalar los equipos electromecánicos siguiendo las pautas establecidas según norma.

6.2.21 Capacitación de Operadores

Se debe capacitar a un operador local en todos los aspectos de operación, mantenimiento y seguridad del sistema. También brindar capacitación a los dueños del proyecto en el manejo y administración del sistema.

La capacitación en administración deberá de incluir la forma en el cobro de la tarifa y el repago del crédito. También el manejo de un fondo de reserva que cubra los costos de mantenimiento del sistema, para asegurar que el sistema eléctrico siga en servicio a largo plazo y de manera sostenible.

#### 6.2.22 Información a los clientes

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

#### 6.2.23 Puesta en servicio de la central

Empezar a operar la microcentral y evaluarla periódicamente.

En la tablas 6.1 (a), (b), (c) y (d) se plantean los pasos mencionados aplicados al proyecto de la Microcentral Hidroeléctrica de Huacos.

### 6.3 Diseño de una Microcentral Hidroeléctrica

El diseño de una microcentral hidroeléctrica abarca 2 partes, la primera es el diseño de las obras civiles y la segunda es el equipo electromecánico. Para iniciar el diseño de las instalaciones necesitamos tener los siguientes parámetros: caída bruta, potencia y caudal de diseño.

### 6.4 Obras Civiles

Los principales componentes de las obras civiles en una MCH son: la Bocatoma, el canal de demasías y vertedero, el desarenador, el canal de aducción, la cámara de carga, tubería de presión, casa de fuerza y canal de descarga.

<b>Pasos a seguir</b>	<b>Función</b>	<b>Como se aplica en el proyecto de la Microcentral</b>
1.- Estimado de Costos y Disponibilidad de Equipos	Estimar un costo aproximado de la central	Visitar proveedores y fabricantes nacionales. Para obtener el costo de inversión usaremos un método sencillo de costeo mostrado en el capítulo 7: Evaluación Económica.
2.- Respuesta de la demanda	Evaluación socioeconómica de la localidad	Conversar con la localidad de Huacos acerca del tema de electricidad y evaluar la capacidad de pago mensual
3.- Estimación de la Potencia Disponible	Máxima Potencia que se puede ofertar	Hallar el caudal promedio del canal y el salto aprovechable mediante técnicas prácticas
4.- Estimación de la Demanda	Potencia y Energía de la localidad	Este desarrollo se puede ver en el capítulo 4: Estudio de la Demanda
5.- Estimación de la Demanda Empresarial	Potencia y Energía de las Empresas	Esta estimación se desarrolló en el capítulo 4: Estudio de la Demanda y en el capítulo 7: Evaluación Económica
6.- Estimación del Tamaño del Generador y su costo	Ayuda para el costeo	De acuerdo a la potencia de diseño obtenida podemos tener una idea de que potencia será el generador.

Tabla 6.1. (a).- Pasos a seguir para construir una Microcentral Hidroeléctrica

<b>Pasos a seguir</b>	<b>Función</b>	<b>Como aplicarlo en el proyecto de la Microcentral</b>
7.- Verificación preliminar de viabilidad	Se puede o no?	Se desarrollará esto en el capítulo 7: Evaluación Económica
8.- Definir caudal de diseño	Respaldar cálculos	Inicialmente se tomarán los datos expuestos en el capítulo anterior y se asumirá una eficiencia para el cálculo
9.- Reunión con la comunidad	Presentar el estudio de Pre-Factibilidad	Con el presente estudio se puede mostrar los beneficios de la generación eléctrica en la comunidad
10.- Proyecto detallado	Estudio más profundo	Una vez aprobado el paso 9 se puede ajustar datos y cálculos de diseño.
11.- Cálculo final de la Potencia	Ajustar a la Potencia requerida	Con el paso 10 se podrá ajustar la potencia obtenida anteriormente.
12.- Mapa a Escala	Panorama del proyecto	Obtener un mapa que ilustre y sea de fácil interpretación y ayuda en el desarrollo del proyecto
13.- Esquema de Obras	Dibujar todas las obras en el mapa a escala	En el mapa a escala se proyectará la microcentral hidroeléctrica para visualizarla en el terreno.

Tabla 6.1. (b) .- Pasos a seguir para construir una Microcentral Hidroeléctrica

<b>Pasos a seguir</b>	<b>Función</b>	<b>Como aplicarlo en el proyecto de la Microcentral</b>
14.- Revisión del Esquema	Ajustar diseños	Una vez desarrollado el proyecto se procederá a mejorar los diseños y la selección de equipos a usar.
15.- Elaboración del Presupuesto	Obtener Costos reales	Obtener datos más exactos de precios y costos.
16.- Viabilidad Financiera	Se puede financiar?	Elaborar estudio financiero del proyecto
17.- Contratos con los clientes	Asegurar la demanda	Obtener la lista de todos los clientes de la localidad y asegurar que más adelante se pagará la energía eléctrica
18.- Financiamiento	Obtener la inversión	Se tendrá el dinero de un inversionista particular, de la zona o en todo el caso el Estado Peruano
19.- Solicitud y Transporte de Materiales	Proveer todos los equipos y materiales	Se desarrollará una logística que lleve todo lo requerido al lugar en el momento indicado
20.- Etapa de Construcción	Implementar la central	Se llevará a cabo de acuerdo a los tiempos que indique el proyecto

Tabla 6.1. (c) .- Pasos a seguir para construir una Microcentral Hidroeléctrica

<b>Pasos a seguir</b>	<b>Función</b>	<b>Como aplicarlo en el proyecto de la Microcentral</b>
21.- Capacitación de Operadores	Garantizar O&M	Se escogerá a los más capaces de llevar a cabo las maniobras de operación del proyecto
22.- Información a los Clientes	Dar información	Mediante reuniones de capacitación se irá creando la cultura de electricidad y el ahorro energético.
23.- Puesta en servicio del proyecto	Iniciar operaciones	Finalmente se opera la central y además se recomienda una evaluación integral y periódica para el normal funcionamiento de la microcentral

Tabla 6.1. (d) .- Pasos a seguir para construir una Microcentral Hidroeléctrica

## 6.5 Partes de las Obras Civiles

Los principales componentes de las obras civiles en una MCH son: la Bocatoma, el canal de demasías y vertedero, el desarenador, el canal de aducción, la cámara de carga, tubería de presión, casa de fuerza y canal de descarga. Veamos a continuación el desarrollo de cada parte:

### 6.5.1 Bocatoma

La bocatoma de la microcentral puede ser una obra bien sencilla y de bajo costo. Se favorecen bocatomas no-permanentes sobre las represas formales, debido a sus bajos costos y mayor flexibilidad. El diseño debe garantizar algunas consideraciones:

- a. Debe garantizar un caudal de diseño constante.
- b. Captación del mínimo de sólidos.
- c. Que tenga una buena ubicación para que sea de fácil construcción.

En nuestro proyecto se aprovechará la bocatoma actual, echa de cemento y que tiene una construcción sencilla ya que el caudal a tomar es pequeño ( $0.025\text{m}^3/\text{s}$ ). Veamos la figura 6.2 y 6.3 donde vemos el esquema de la obra de captación.

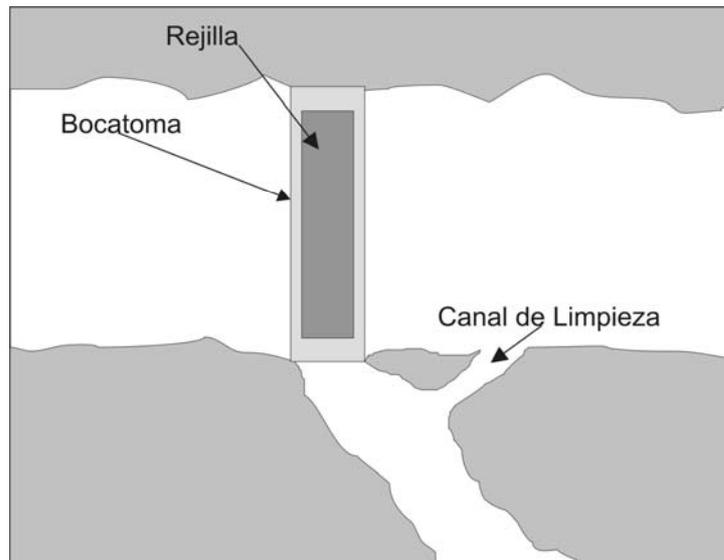


Figura 6.2.- Vista Superior de la Bocatoma en el lecho

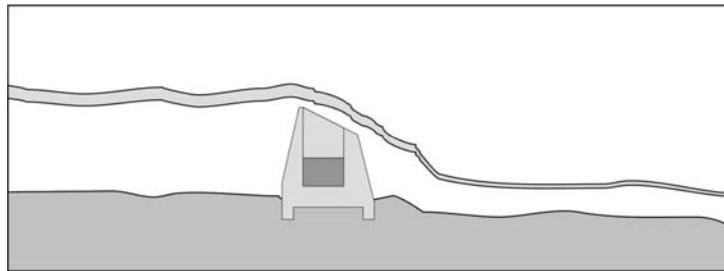


Figura 6.3.- Vista de perfil de la bocatoma

### 6.5.2 Canal de aducción

En la obra de conducción, el caudal tiene un flujo uniforme, es decir, tiene una velocidad igual a lo largo del tiempo. Para algunas centrales, el canal puede mejorar la viabilidad económica del proyecto porque disminuye la longitud de la tubería forzada y de los cables eléctricos requeridos. En otros casos el canal es una obra cara que puede implicar futuros gastos en mantenimiento debido a fugas de agua, erosión del suelo, y deslizamientos del terreno.

El uso de un canal y la selección de la ruta para un canal, son decisiones que deberán de considerarse con un buen criterio. Los factores de importancia son:

- a) Disponibilidad de mano de obra económica para la excavación y posterior mantenimiento del canal.
- b) Tipos de suelo, requerimientos de revestimiento, y el costo de transporte de materiales como el cemento.
- c) Costos de otras alternativas como por ejemplo una tubería forzada más larga, cable de distribución eléctrica más extenso, comparados con el costo del canal. El uso de tubería de baja presión para conducir el agua hasta la toma de la tubería forzada puede ser una alternativa más barata.
- d) La existencia de canales abandonados que podrían ser aprovechados.
- e) **El uso del canal con un doble propósito, sirviendo para riego o para consumo, y adicionalmente cumpliría la función de suplir agua a la turbina. Esta es la decisión importante de porque hemos optado este aprovechamiento.**

Si revestimos el canal con concreto o mampostería aumentará su confiabilidad. Pero también aumentará considerablemente los costos. El revestimiento de un canal también aumenta su eficiencia hidráulica

porque el agua puede fluir a velocidades más altas sin erosionar los bordes, por ende se pueden reducir el ancho y el alto de un canal que tenga revestimiento.

Finalmente esta decisión dependerá de la cantidad de caudal que queramos y de la potencia a producir. A continuación se mostrarán algunos criterios de cálculo que pueden servir para reforzar nuestro trabajo. Para el cálculo de las dimensiones y características del canal, se usa la ecuación de Manning aplicable a flujos uniformes:

$$r_H = \left( \frac{n \cdot v}{\sqrt{s}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

$r_H$  es el radio hidráulico

$n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning.

$s$  es la pendiente del canal

$v$  es la velocidad media del agua en el canal (m/s)

En la tabla 6.2 vemos algunos valores típicos de “n” usados en el cálculo de canales de aducción:

Revestimiento del Canal	Mínimo	Normal	Máximo.
Mampostería			
1.- Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2.- Piedra partida suelta	0.023	0.032	0.035
Cemento			
1.- Limpio en la superficie	0.010	<b>0.011</b>	0.013
2.- Con mortero	0.011	0.013	0.015
De tierra recto y uniforme			
1.- Limpio terminado	0.016	0.018	0.020
2.- Limpio con cierto uso	0.018	0.022	0.025
3.- Con musgo corto, poca hierba	0.022	0.027	0.033

Tabla 6.2.- Valores típicos del "n" de Manning

Adicionalmente usaremos la ecuación de continuidad:

$$Q = vA$$

Donde:

Q es el caudal (m<sup>3</sup>/s)

v es la velocidad (m/s)

A es el área seccional del agua (m<sup>2</sup>)

La velocidad del agua en el canal depende de la pendiente del canal y de la rugosidad del material de revestimiento. La velocidad tiene un límite superior, para cada tipo de material de revestimiento.

A velocidades mayores de este límite, los lados del canal erosionarían rápidamente, en la tabla 6.3 vemos los límites de velocidades para un canal con profundidades menores a 0.3 m:

Material del canal	Velocidad máxima permisible para evitar la erosión, en canales de poca profundidad (m/s)
Arena fina	0.3 m/s
Suelo arenoso	0.4 m/s
Suelo arcilloso	0.6 m/s
Concreto / Mampostería	1.5 m/s

Tabla 6.3.- Límites de velocidad para canales vadosos (profundidades menores de 0.3m)

De la Tabla se aprecia que un buen revestimiento aumenta considerablemente la velocidad máxima permisible del agua. Cuando el agua contiene sedimentos también hay un límite inferior a la velocidad, siendo de 0.3 m/s. Se respeta este límite inferior para prevenir que los sedimentos se depositen a lo largo del canal, causando obstrucciones. En caso que el agua esté siempre libre de sedimentos, este límite inferior no tiene importancia.

Una velocidad baja significa un diseño con poco declive. En la tabla 6.4 han sido calculadas las dimensiones de canales usando una velocidad de diseño de 0.3 m/s para garantizar la duración del canal. Esto permite tener

pérdidas de desnivel reducidas, y maximiza el desnivel disponible para la tubería forzada. Para nuestro canal trabajamos con una rugosidad de 0.011, la cual es para un canal de cemento. El área de la sección del canal debe ser mayor que el área del que forma el agua para proporcionar el caudal requerido. La altura adicional del canal o borde franco es aproximadamente un 30% adicional, esto reduce el riesgo de daño a las paredes del canal si se desbordara.

Para simplificar el proceso de diseño de canales, las dimensiones apropiadas para el área seccional correspondientes a diversos caudales, están dadas en la siguiente tabla:

caudal (L/s)	ARENOSO			
	H	A.SUP	A.INF	PERD
10	13.0 cm	59.0 cm	6.0 cm	1.6 m
20	19.0 cm	84.0 cm	9.0 cm	1.0 m
25	21.0 cm	93.5 cm	10.0 cm	0.9 m
30	23.0 cm	103.0 cm	11.0 cm	0.8 m

caudal (L/s)	ARCILLOSO			
	H	A.SUP	A.INF	PERD
10	15.0 cm	44.0 cm	13.0 cm	1.3 m
20	22.0 cm	62.0 cm	18.0 cm	0.8 m
25	24.5 cm	68.5 cm	20.0 cm	0.7 m
30	27.0 cm	75.0 cm	22.0 cm	0.6 m

caudal (L/s)	CONCRETO			
	H	A.SUP	A.INF	PERD
10	15.0 cm	29.0 cm	29.0 cm	1.4 m
20	21.0 cm	42.0 cm	42.0 cm	0.9 m
25	23.0 cm	46.5 cm	46.5 cm	0.8 m
30	25.0 cm	51.0 cm	51.0 cm	0.7 m

Tabla 6.4.- Dimensiones mínimas apropiadas para canales,  
para diversos caudales y materiales de revestimiento

Con tal que haya suficiente agua disponible, vale la pena dimensionar el canal para un caudal mayor del requerido por la turbina. Suponer que se requerirá de 10% a 20% de caudal adicional. Eso compensará pérdidas por algunas fugas pequeñas que hay, además de las pérdidas por infiltración. A veces el agua fluyendo por el canal tendrá múltiples propósitos, como para riego o uso domiciliario. Estos requerimientos deberán de tomarse en cuenta durante la fase de diseño del canal. Para la construcción de canales, la ruta del canal deberá de escogerse con cuidado. Se intentará evitar rutas que pasen por ciertos tipos de terrenos, como:

- Tierras excesivamente porosas
- Áreas rocosas donde serán imposibles las excavaciones
- Pendientes muy fuertes o inestables

En tierras porosas, puede ser posible sellar el canal con revestimiento de arcilla o de concreto. Las áreas rocosas realmente no tienen remedio y deberían de evitarse. Los tramos de pendientes fuertes y cruzadas de arroyos son difíciles, pero en muchas áreas rurales la gente ha encontrado formas de superar estos obstáculos.

**Para nuestro proyecto, el canal ya está hecho y es de concreto. Tiene una altura de 32cm con un ancho superior e inferior de 55cm (Ver figura 6.4).**

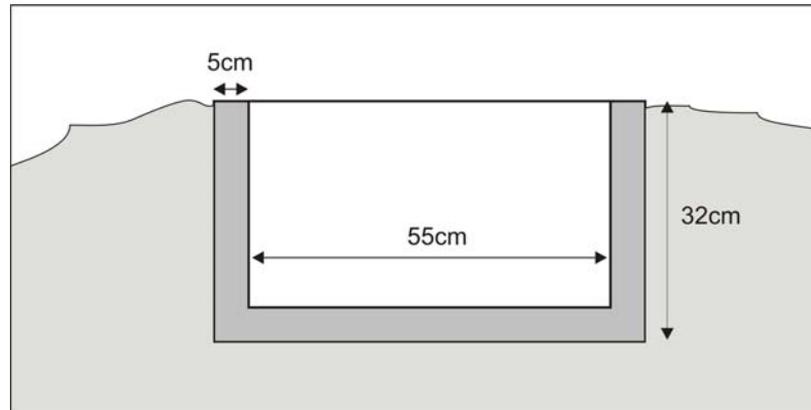


Figura 6.4.- Sección del canal de aducción

### 6.5.3 Cámara de Carga con desarenador

La cámara de carga proporciona suficiente profundidad para garantizar que la boca de la tubería forzada esté siempre cubierta de agua. En algunos casos la tubería forzada está instalada directamente en la obra de toma de la captación de agua, y no se requiere de una cámara de carga. Se requiere de la cámara de carga cuando se utiliza un canal o cuando se recoge agua de más de una fuente.

El diseño de la cámara de carga varía dependiendo de varios factores, tales como:

- Accesibilidad del lugar
- Disponibilidad de materiales de construcción
- Costos de mano de obra calificada y no calificada

Sin embargo, se recomienda que cualquier diseño incluya provisiones para el rebose de agua y para la limpieza de sedimentos del fondo del tanque que muchas veces actúa como un desarenador.

La profundidad del agua en la cámara de carga deberá ser suficiente para cubrir la boca de la tubería forzada hasta 4 veces el diámetro del tubo. Deberá de dejarse espacio por debajo de la boca del tubo, equivalente a un diámetro.

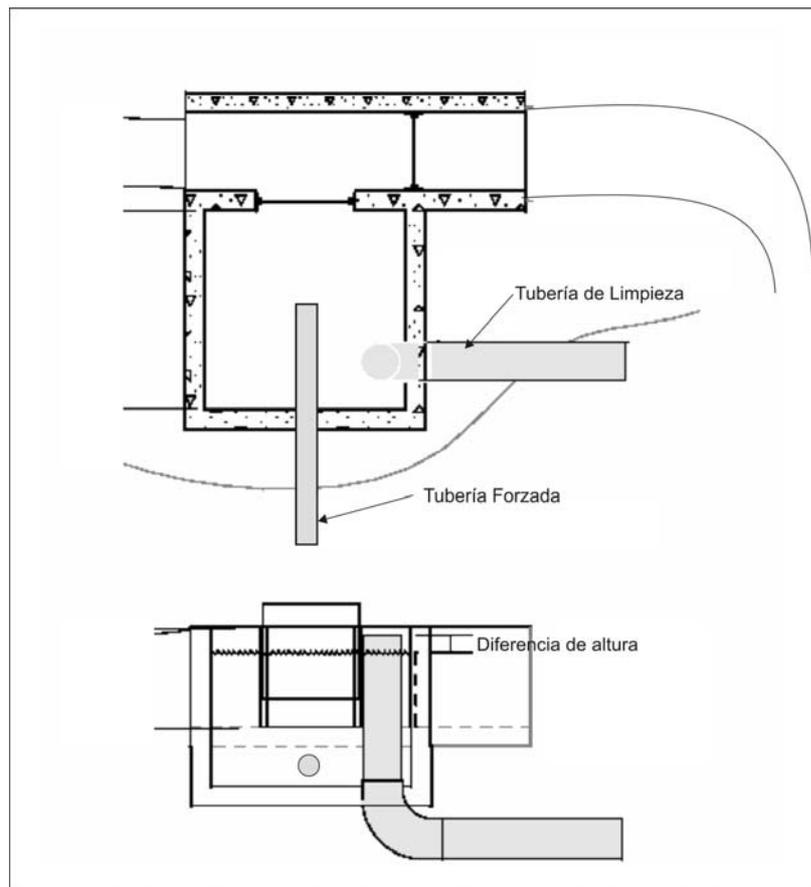


Figura 6.5.- Diseño recomendado de una cámara de carga alimentado desde un canal de irrigación

Visto que el agua en la cámara de carga fluye muy lentamente, el sedimento cae al fondo donde forma una capa gruesa de lodo. Si se deja acumular demasiado tiempo, los sedimentos pueden obstruir la tubería. Los sistemas hidráulicos más grandes a menudo tienen desarenadores para eliminar los sedimentos. Eso no es necesario en los sistemas microhidráulicos, con tal que se incluya una compuerta de limpieza o tubo de limpieza en el diseño de la cámara de carga para facilitar la limpieza del lodo del fondo del tanque.

En caso de llenarse la cámara de carga, es importante que el agua pueda derramarse sin causar daños. El aliviadero puede ser una melladura o canaleta cortada en la pared más baja de la cámara de carga. Una alternativa es el uso de un tubo que sirve como rebose y también para drenaje y limpieza.

Por ejemplo puede haber una cámara de carga alimentada de un canal de irrigación, aunque el agua igualmente podría provenir de una línea de tubería de baja presión. Se desvía el agua hacia la cámara de carga cuando se requiera, y cuando no se requiera el agua sigue fluyendo por el canal. Cualquier método que se utiliza para el rebose, siempre se dirige el agua rebosada hacia un arroyo o zanja donde no erosione el terreno.

Para la construcción de la Cámara de Carga es mejor si se cuenta con mano de obra disponible, la construcción de una pequeña cámara de carga

con piedras y arcilla no es cara. Es más fácil anclar la boca de la tubería forzada cuando se utilicen piedras en la construcción de las paredes. Si la cámara de carga tiende en rebosar con frecuencia, paredes de arcilla se erosionarían, requiriendo de muchas reparaciones. En este caso se recomienda utilizar cemento y piedras para construir cámaras de carga de mayor durabilidad.

El flujo del agua hacia la cámara de carga es controlado por una compuerta. Se ha hecho una canaleta de rebose en la pared cuesta abajo para que el agua sobrante se retorne al arroyo sin socavar la mampostería. Un tubo de drenaje y limpieza, sellado con un tapón de madera, ha sido incorporado en la parte más baja del fondo del tanque.

**Inicialmente se puede recomendar la construcción de una cámara de carga de piedra y cemento con dimensiones cuadradas de un metro de largo con medio metro de profundidad hasta la tubería forzada.**

#### 6.5.4 Tubería Forzada

La tubería forzada es un conducto que lleva el agua a presión desde la cámara de carga hasta la turbina. El peso del agua en el tubo proporciona la presión requerida para hacer girar la turbina. Se conecta un filtro al extremo de la toma de agua, y en el extremo donde la turbina se instala una válvula para abrir y cerrar el pase de agua. Aguas abajo de la válvula hay una tobera que concentra el agua en un chorro a alta presión.

#### 6.5.4.1 Selección de la Tubería Forzada:

Muchas veces la tubería forzada es la parte más cara de un proyecto de centrales. Por lo tanto que se selecciona con cuidado. Hay tres consideraciones fundamentales cuando se escojan las tuberías a comprar para la tubería forzada:

- El material
- El diámetro interior, depende de la longitud total y el caudal.
- La presión nominal, depende del desnivel neto

#### 6.5.4.2 Presión Nominal:

Se diseña la tubería forzada para conducir el agua hacia la turbina de manera segura y eficiente. Entre más alta la presión, se requiere tener la pared más gruesa, lo cual aumenta el costo. La presión del agua en la tubería forzada depende del desnivel. Si se instalan tuberías de presiones nominales demasiado bajas, hay riesgo que el tubo ruptur. Si se instalan tuberías de presiones nominales demasiado altas, se estaría desperdiciando dinero. La tubería forzada ideal será de baja presión cerca de la cámara de carga, y de pared más gruesa cerca de la turbina donde la presión es mayor.

### 6.5.4.3 Especificación de la presión nominal correcta

La presión que existe en cualquier punto de la tubería, puede ser fácilmente calculada si se conoce el desnivel existente en ese mismo punto.

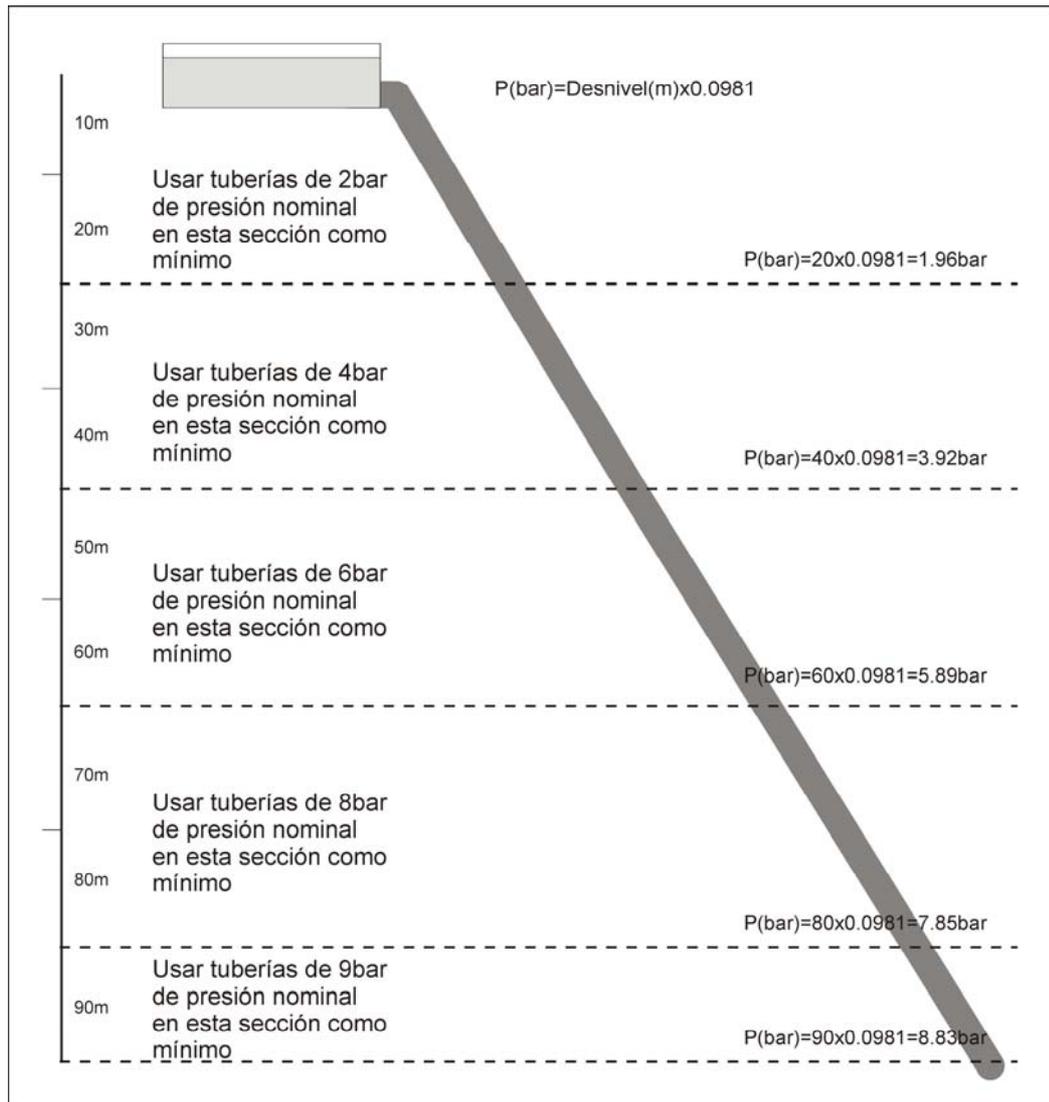


Figura 6.6.- Presión nominal de la tubería forzada

Las tuberías de plástico se venden ya incorporando un factor de seguridad de entre 1.5 y 2.5 para compensar

oleadas de presión. Eso significa que las tuberías pueden utilizarse hasta la presión nominal dada por el fabricante (con tal que se hagan correctamente las uniones entre los tubos y que la tubería se entierre y se ancle firmemente).

La válvula de control ubicada aguas arriba de la tobera deberá de abrir y cerrarse lentamente para minimizar las oleadas de sobrepresión. Si se siguen estas recomendaciones y se utilizan las tuberías hasta las presiones nominales dadas por el fabricante, entonces se logrará minimizar los costos sin comprometer la seguridad.

**Para los primeros 30 de altura metros se puede usar una tubería de PVC de clase 15 (soporta hasta 15bar), luego para los siguientes 40 metros de altura se usará tubería de clase 10 y finalmente el resto que soportará menos presión será de clase 5 (Ver la figura 6.7).**

#### 6.5.4.4 Diámetro de la tubería

El diámetro por lo general debe ser determinado en base de un estudio económico. Mientras mayor es el diámetro menores son las pérdidas hidráulicas en la tubería y mayor es la potencia que se puede obtener del salto.

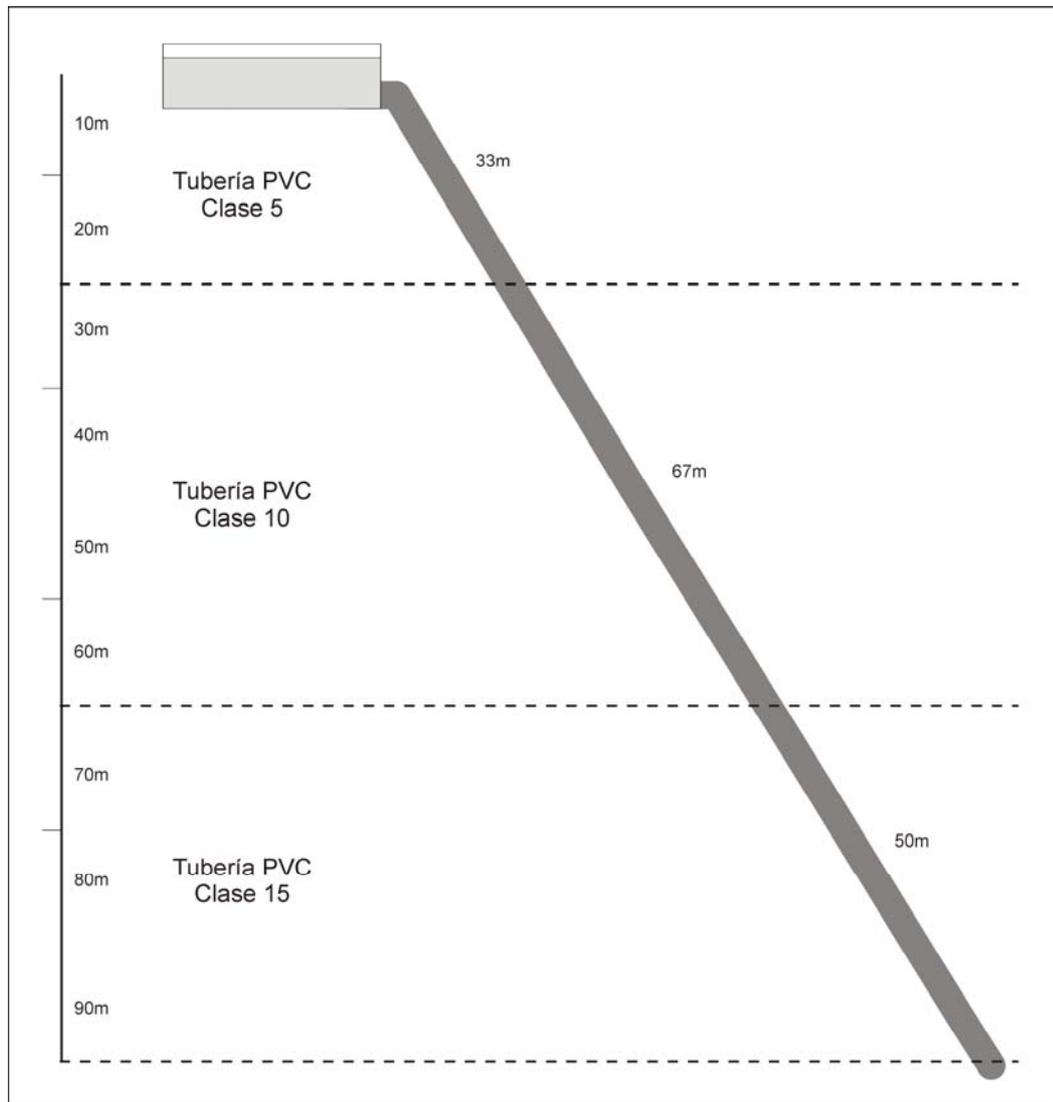


Figura 6.7.- Tuberías de PVC a usar en el proyecto

A veces una evaluación analítica muy refinada no es justificable, pues muchos de los datos considerados son inciertos, ya que dependen de la existencia en el mercado de determinados tamaños y espesores de tubería. Además los precios fluctúan con frecuencia. Por este motivo se ha desarrollado algunas formulas que son suficientemente exactas para un diseño preliminar.

<b>Diam. Nom. (ASTM)</b>	<b>Diam Ext. (mm)</b>	<b>Clase 15 Espesor (mm) EC</b>	<b>Clase 10 Espesor (mm) EC</b>	<b>Clase 5 Espesor (mm)EC</b>	<b>Largo (m)</b>
½''	21	1.8	1.8	-	5
¾''	26.5	1.8	1.8	-	5
1''	33	2.3	1.8	-	5
1 ¼''	42	2.9	2.0	-	5
1 ½''	48	3.3	2.3	-	5
2''	60	4.2	2.9	1.8	5
2 ½''	73	5.1	3.5	1.8	5
3''	88.5	6.2	4.2	2.2	5
4''	114	8.0	5.4	2.8	5
<b>6''</b>	<b>168</b>	<b>11.7</b>	<b>8.0</b>	<b>4.1</b>	<b>5</b>
8''	219	15.3	10.4	5.3	5
10''	273	-	13.0	6.7	5
12''	323	-	15.4	11.7	5

Tabla 6.5.- Dimensiones y características de tubería de PVC rígido

EC: Espiga - Campana

Según Mannesman Rohren Werke el diámetro más económico (para H<100m) esta dado por la siguiente formula:

$$D = \sqrt[3]{0.052(Q)^3}$$

Donde:

D es el diámetro (m)

Q es el caudal ( $m^3/s$ )

De acuerdo a esta fórmula tenemos un diámetro de 0.13m, equivalente a 134 mm ó 5.31 in. Entonces de acuerdo a la tabla 6.5 el diámetro nominal será de 6 in. Entonces nuestra tubería a usar será la siguiente:

TIPO PVC	Longitud Total (m)	Unidades (5m)	Espesor (mm)
Clase 5	33	7	4.1
Clase 10	67	14	8.0
Clase 15	50	10	11.7

Tabla 6.6.- Tubería a usar en el proyecto

#### 6.5.4.5 Conexión de la Tobera

Se recomienda la instalación de una válvula de gaveta para pasar y cortar el suministro de agua a la turbina. Estas válvulas son comúnmente disponibles, y tardan para abrir o cerrarlas, lo cual reduce la posibilidad de ocurrencia de “oleadas de presión” en la tubería forzada que la podría reventar. Las sobrepresiones son más propensas de ocurrir con válvulas “mariposa” y “globo” que son capaces de cerrarse rápidamente. Se deberá aplicar grasa al vástago de las válvulas de gaveta frecuentemente para evitar que la corrosión.

La tobera de la turbina deberá tener rosca macho para permitir enroscarse dentro de la válvula.

## 6.6 Equipo electromecánico:

### 6.6.1 La Turbina

Este es el componente del sistema que aprovecha la potencia hidráulica y la convierte en potencia mecánica rotativa. Varios diseños de turbinas han sido desarrollados. La selección de la turbina más adecuada para un aprovechamiento particular depende de las características del lugar, los factores dominantes, siendo éstos la altura y caudal disponible y la potencia requerida. La selección también depende de la velocidad a la cual es deseable que gire el generador ú otros dispositivos que cargan a la turbina. Otras consideraciones tales como que se espere que la turbina trabaje a cargas parciales ó no, juegan un papel importante en la selección.

Para nuestra selección del tipo de turbina nos basamos en la figura 6.8 la cual muestra un rango de turbinas con sus alturas de operación, de la cual se desprende que puede haber varios tipos de turbinas que se pueden aplicar en un sitio particular. Nosotros contamos con 90 metros y eso nos da opción a usar una Pelton, Francis o Bomba como turbina.

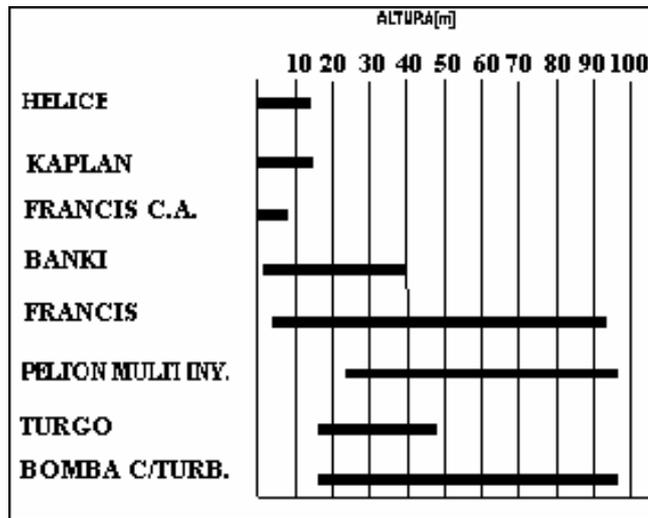


Figura 6.8.- Selección de turbinas para microcentrales de acuerdo al salto

De estas 3 opciones que vemos, la turbina Francis requiere de mayor mantenimiento pues su estructura es más compleja, queda descartada. Luego, la bomba como turbina tiene una baja eficiencia para esta potencia y también queda descartada. Finalmente usaremos turbina Pelton.

El rodete estilo Pelton se utiliza en muchos sistemas de potencia hidráulica cuando el desnivel sea mayor de 20 metros. Cuesta relativamente poco fabricarlo, pero a la vez es lo suficientemente fuerte para tener una larga vida útil.

La carcasa o tapadera y la tobera también son fáciles de construir, y una turbina Pelton, aunque sea muy pequeña, puede trabajar con buena eficiencia, convirtiendo la mayor parte de la potencia hidráulica en potencia mecánica para hacer girar el generador.

Una turbina Pelton tiene una o más toberas o inyectoros que dirigen chorros de agua bajo presión a impactarse en cucharas de una forma especial que están sujetadas a una rueda. Las cucharas absorben la fuerza del chorro de agua y empujan la rueda para que gire a altas velocidades, por ejemplo a 1500 revoluciones por minuto.

La forma de la cuchara es diseñada para dividir el chorro de agua en dos mitades y defleccionar los dos chorros nítidamente fuera del rodete para que no interfieran con el chorro de agua entrante ni con las otras cucharas.

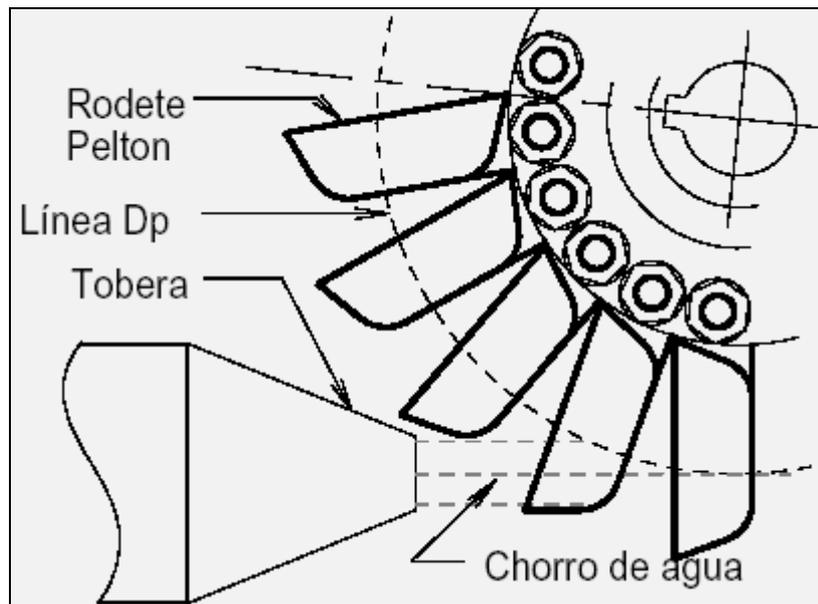


Figura 6.9.- La Tobera dirige el chorro de agua a impactar en el Dp del rodete de la turbina

A continuación veamos la figura 6.10 y hallemos la turbina micropelton óptima:

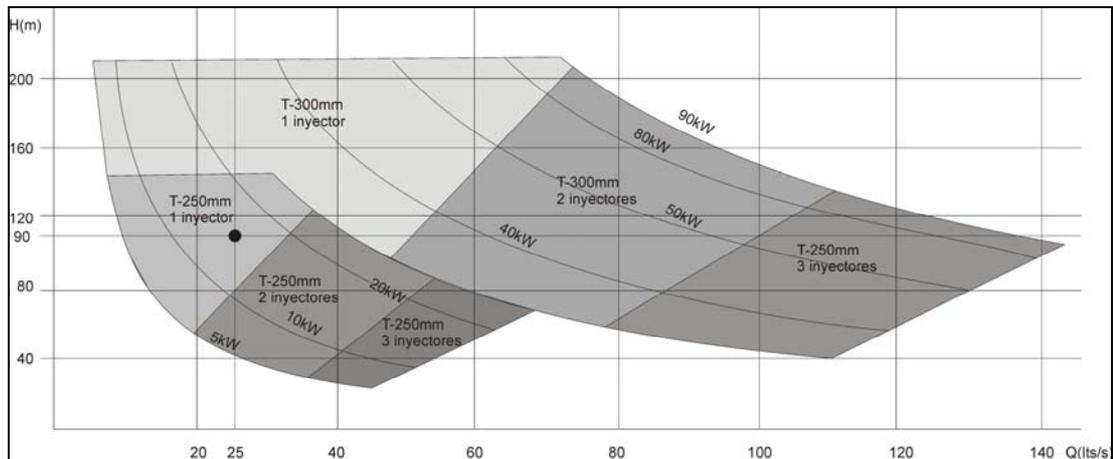


Figura 6.10.- Diagrama para hallar la tubería micro-pelton

**La turbina seleccionada para 25l/s y 90m de salto es una micro-pelton de 1 inyector y 250mm de diámetro.**

Para hallar la velocidad específica usamos la fórmula recomendada por Siervo y Lugaresi, para Pelton de un chorro:

$$n_s = 85.49 / H^{0.243}$$

Para H=90m tenemos una velocidad específica de 28.64.

### 6.6.2 Generadores

Los generadores de inducción y los generadores sincrónicos producen electricidad CA. La ventaja principal de la CA es que la potencia puede ser transmitida a través de grandes distancias. Por eso la CA es apropiada para proyectos de electrificación de aldeas, porque las cargas eléctricas (por ejemplo bujías para iluminación) usualmente están en ubicaciones dispersas, y a distancias considerables del lugar del generador.

Para este tipo de potencia se recomienda el uso de un generador síncrono, esta es una máquina de uso prioritario en las unidades de generación, con el tiempo ha ido evolucionando en su análisis, magnitud de potencia y métodos de enfriamiento, sin embargo su estructura básica sigue siendo la misma (ver figura 6.11) desde que fue introducida en el siglo XIX.

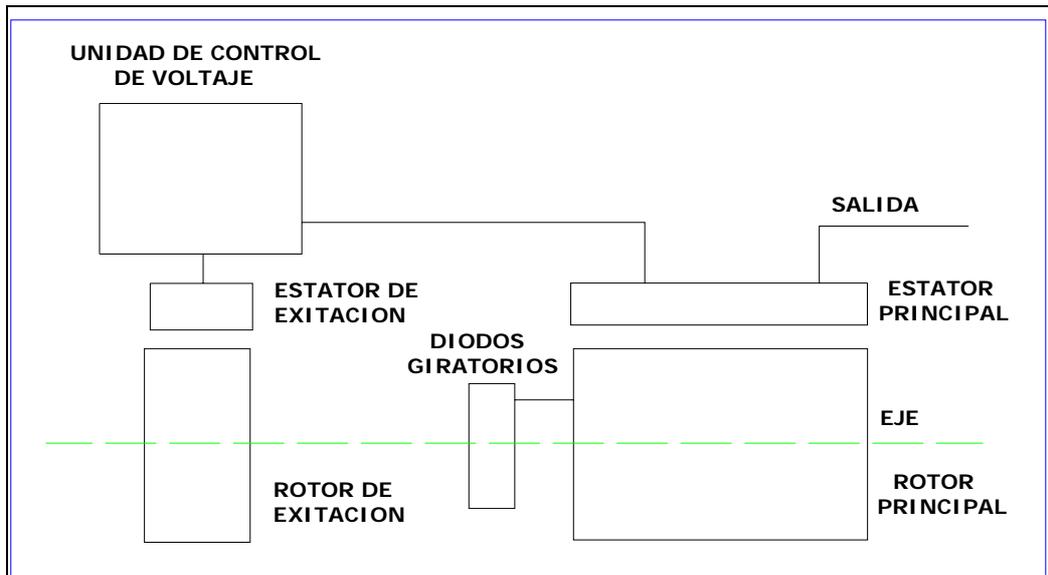


Figura 6.11.- Estructura base de un generador síncrono

Para los datos de Placas del generador, de acuerdo con datos de una central similar tenemos:

Marca: NN

Modelo: BCI184

Serie: 01017031103

kVA: 18

kW: 14.5

fdp (Cos $\phi$ ): 0.80

Hz : 60

Conexión: Y

AVR: 63-5 BASLER

Temperatura amb. 40 C

m.s.n.m.: 3565m

### 6.7 Tecnología de bajo costo para obras civiles de microcentrales rurales

La siguiente tabla muestra las tecnologías de bajo costo desarrolladas en la actualidad con relación a las obras civiles para MCHs:

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas con respecto a la tecnología convencional</b>
1. Bocatoma de barraje mixto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el volumen de concreto</li> <li>• Hace uso de materiales de la Zona</li> <li>• La limpieza de sedimentos es sencillo</li> <li>• La tecnología es más apropiada para la zona</li> <li>• La regulación de la cantidad de agua se simplifica</li> </ul>
2. Impermeabilización de canales con revestimiento de concreto por el método de las cerchas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad y costo del cemento y agregados se reduce entre un 50 a 60% (El concreto se acomoda en espesores de 5 y 7.5 cm)</li> <li>• La cantidad de madera se reduce en un 75%</li> <li>• Elimina la tarea de encofrar y desencofrar</li> <li>• Mayor flexibilidad en el revestimiento de tramos curvos.</li> <li>• El acabado final de las superficies se realiza simultáneamente.</li> <li>• El costo de materiales y mano de obra en las juntas de dilatación se reduce al 50%.</li> </ul>
3. Simplificación del sistema de limpieza en desarenadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La compuerta metálica y el canal de limpieza de concreto han sido cambiados por un sistema de tuberías de PVC .</li> <li>• Facilita la operación de limpieza y reduce costos de mantenimiento del desarenador</li> </ul>
4. Instalación de Tubería de Presión con material PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tubería es de bajo peso y por tanto facilitan el transporte y el montaje.</li> <li>• No se requiere de equipos de soldadura y/o técnicas sofisticadas para su instalación.</li> <li>• La unión entre tubos puede ser rígido (pegamento) o flexible (anillos de caucho), existiendo además disponibilidad de accesorios (curvas, Tees, uniones de reparación, reducciones)</li> <li>• No necesita apoyos de concreto, los anclajes son más pequeños. La tubería va enterrada</li> <li>• Poseen alta resistencia química, bajo índice de rugosidad, por tanto menores pérdidas de carga.</li> <li>• Por la disponibilidad local, se puede emplear hasta los 150 m de altura. A mayor altura se puede combinar con tubería de fierro.</li> </ul>
5. Casa de Fuerza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo se considera material noble en los cimientos y zócalos para evitar el asentamiento de la estructura.</li> <li>• En muros y techos se usan tecnología y materiales de la zona (barro y madera)</li> <li>• El costo se reduce en un 30 a 40% respecto a construcciones de material noble</li> </ul>

Tabla 6.7.- Tecnologías de bajo costo en obras civiles para MCHs y otros

## **CAPÍTULO 7**

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

#### 7.1. Generalidades

Un proyecto de inversión en un aprovechamiento hidroeléctrico exige pagos extendidos a lo largo de su ciclo de vida, y proporciona ganancias también distribuidas en el mismo periodo de tiempo. Los egresos incluyen el costo inicial de inversión, gastos de operación y mantenimiento, y otros más, mientras que los ingresos corresponden a las ventas de la electricidad generada.

Al final del proyecto, cuya vida está en general limitada por la duración de la autorización administrativa, quedará un valor residual que en teoría es siempre positivo. El análisis económico tiene como objetivo comparar ingresos y egresos para cada una de las posibles alternativas a fin de decidir cual de entre ellas es la que conviene acometer, o si hay que renunciar definitivamente al proyecto.

Desde el punto de vista económico, una central hidroeléctrica difiere de una central térmica, en que la primera exige un costo de inversión más elevado que la segunda, pero por el contrario sus costes de explotación son sensiblemente inferiores al no necesitar combustible (el equivalente al combustible es el agua que mueve las turbinas, que por lo general es gratis).

El primer problema que se plantea al analizar la inversión, es si los cálculos deben hacerse en moneda nacional o en dólares. En la práctica se considera que los gastos y los ingresos se ven igualmente afectados por la inflación por lo que, en general, se recomienda elaborar el análisis en moneda extranjera.

## 7.2. Evaluación de Alternativas

A continuación se compara la generación microhidráulica con otras opciones para una potencia instalada de 20kW:

Alternativas	Costo Unitario de Potencia Instalada (\$/kW)	Inversión Inicial Total (\$)	Opinión del Costo de Inversión
Energía Solar	12000	240000	Cara
Energía Eólica	5000	100000	Medio
Energía Microhidráulica	2500	<b>50000</b>	Económica

Tabla 7.1.- Comparación de la inversión inicial

Alternativas	Costo Energía (\$/kWh)	Energía Total Año1 (kWh)	Costo Total Anual Energía (\$)
Energía Solar	1.5	31407	47111
Energía Eólica	0.4	31407	12563
Energía Microhidráulica	<b>0.15</b>	31407	<b>4711</b>

Tabla 7.2.- Comparación del costo de energía

Alternativas	Costo Energía (\$/kWh)	Energía Residencial total Año1 (kWh)	Pago Total Residencial	Pago Anual por Vivienda (\$)	Pago Mensual por Vivienda (\$)
Energía Solar	1.5	8985	13478	385	35.0
Energía Eólica	0.4	8985	3594	103	9.3
Energía Microhidráulica	0.15	8985	1348	39	<b>3.5</b>

Tabla 7.3.- Pago mensual que haría cada vivienda para cada opción

De la tabla 7.1 vemos que la inversión inicial menor es la energía microhidráulica y de la tabla 7.2, el costo de la energía total para la localidad en conjunto es 10 veces más económica si comparamos microhidráulica con solar.

Tiempo	Consumo de velas y pilas (\$) (cambio \$3.2)	Consumo de velas y pilas (S/.)
semanal	1.2	3.75
mensual	<b>4.7</b>	<b>15</b>

Tabla 7.4.- Gasto mensual y semanal por vivienda en iluminación

Finalmente nuestra decisión va a depender de cuanto va a poder pagar cada vivienda (35 en total), y vemos que de acuerdo a la tabla 7.3, el menor consumo se hace con la hidráulica. Adicionalmente vemos en la tabla 7.4 que el gasto mensual por familia es \$4.7. Concluimos que con la opción hidráulica, cada vivienda tiene un ahorro de (\$4.7-\$3.5) de \$1.2 al mes. Esto se refleja en **un ahorro** de (\$1.2 x 35viv x 11meses) **\$457 al año para la comunidad** que pueden ser canalizados para otros gastos.

### 7.3.Consideraciones básicas

El primer paso para evaluar económicamente un proyecto es el de estimar con la mayor precisión posible el costo de la inversión. En una primera aproximación, se pueden utilizar datos económicos correspondientes a instalaciones similares o utilizar ábacos desarrollados con ese fin. Se deben analizar los costos de la bocatoma, el canal, la cámara de carga, la tubería forzada, la casa de máquinas, las turbinas, los generadores, el transformador y la línea eléctrica en función de los parámetros que de forma más directa influyen en el mismo.

Continuamente aparecen en el mercado nuevos programas informáticos que permiten, entre otras cosas, evaluar los costes de inversión de proyectos y con una metodología amigable para estudios previos de factibilidad, en nuestro caso hemos usado hojas de cálculo de Microsoft Excel.

#### 7.4. Costeo de la Inversión de la Microcentral Hidroeléctrica

El costo de tubería de presión de PVC se basa en la tabla 6.6 y precios de venta de la empresa Matusita S.A. para lo cual tenemos la siguiente tabla:

CLASE	Cantidad de Tuberías de 5m	Precio (\$/5m)	Precio (\$)
5	7	46.91	328
10	14	89.31	1250
15	10	137.10	1371
Sub-Total			2950
Accesorios			600
<b>Total</b>			<b>3550</b>

Tabla 7.5.- Costo de la tubería de PVC a usar

Para el equipo electromecánico hemos obtenido datos del mercado que se reflejan en la siguiente tabla:

Equipo	Precio (\$)
Turbina Pelton	3500
Generador	3800
Regulador	3400
<b>Total</b>	<b>10700</b>

Tabla 7.6.- Equipo electromecánico para la MCH de 20 kW

Finalmente se van a destinar \$4588 para construir la cámara de carga y algún otro adicional que requiera la obra civil.

Para una potencia de 20kW y de acuerdo a algunos valores obtenidos de proveedores tenemos el siguiente cuadro de costos:

Nº	Sistema de 20kW	Costo (\$)		Contribución a los beneficios
1	Planeamiento / Diseño	\$1200	2%	Alto
2	Administración y Finanzas	\$800	2%	Alto
3	Tubería de Presión de PVC	\$3550	7%	Mediano
4	Obras Civiles	\$22000	44%	Mediano
5	Equipo Electromecánico	\$10700	22%	Alto
6	Montaje	\$2000	4%	Alto
7	Distribución de Electricidad	\$5000	10%	Alto
8	Instrumentación	\$1000	2%	Mediano
9	Contingencias	\$3500	7%	Mediano
	Costo total de capital	\$49750	100%	

Tabla 7.6.- Cuadro de Costos de Inversión

El costo inicial o de inversión del proyecto es de \$49750 para una potencia instalada de 20kW. Con estos datos tenemos un costo de \$2488 por cada Kilovatio instalado. Para este caso particular se tiene un ahorro del 44% (\$22000) del total porque las obras civiles ya existen, sin embargo creemos que un 35% (\$17413) del total es una buena estimación de la instalación actual y con el 9.2% (\$4588) restante podemos utilizarlo en la cámara de carga principalmente.

Con todo esto el costo total de la inversión se reduce a \$ 32338 y el costo unitario de potencia instalada sería de \$ 1617/kW.

#### 7.5. Costo de la Energía

Para estimar el costo de la energía usamos la tabla 7.2 que nos da \$0.15/kWh

#### 7.6. Energía Residencial

A continuación en la tabla 7.7 vemos la evolución del consumo residencial y los correspondientes pagos por energía:

N	FAM (Num)	PotD (W)	Hora Diurno	PotN (W)	Horas Noche	Energía Diaria (Wh)	EAño(kWh)	Tarifa R (\$/kWh)	Pago Anual (\$)	Pago Anual (\$/viv)	Pago Mes (\$/viv)
0											
1	35	352	20	4947	4	26821	8985.18	0.15	1348	38.5	3.50
2	35	354	20	4971	4	26956	9030.11	0.15	1355	38.7	3.52
3	36	355	20	4996	4	27090	9075.26	0.15	1361	38.9	3.54
4	36	357	20	5021	4	27226	9120.64	0.15	1368	38.0	3.45
5	36	359	20	5046	4	27362	9166.24	0.15	1375	38.2	3.47
6	36	361	20	5072	4	27499	9212.07	0.15	1382	38.4	3.49
7	36	362	20	5097	4	27636	9258.13	0.15	1389	38.6	3.51
8	36	364	20	5122	4	27774	9304.42	0.15	1396	38.8	3.52
9	37	366	20	5148	4	27913	9350.94	0.15	1403	37.9	3.45
10	37	368	20	5174	4	28053	9397.70	0.15	1410	38.1	3.46
11	37	370	20	5200	4	28193	9444.69	0.15	1417	38.3	3.48
12	37	372	20	5226	4	28334	9491.91	0.15	1424	38.5	3.50
13	37	373	20	5252	4	28476	9539.37	0.15	1431	38.7	3.52
14	38	375	20	5278	4	28618	9587.07	0.15	1438	37.8	3.44
15	38	377	20	5304	4	28761	9635.00	0.15	1445	38.0	3.46

Tabla 7.7.- Energía Residencial

Observamos que el pago mensual por cada vivienda está dentro de las posibilidades de los pobladores ya que de acuerdo con la tabla 7.4 vemos que cada vivienda puede pagar hasta \$4.7

### 7.7. Otros Consumos de energía

Adicionalmente mostramos la evolución para el alumbrado público (Tabla 7.8), institucional (Tabla 7.9) e industrial (Tabla 7.10).

Año	PotN	H N	EDia(Wh)	EAño(kWh)	Tarifa A	Pago	P MES
0							
1	1508	12	18090	6060	0.15	\$909.0	\$82.6
2	1515	12	18180	6090	0.15	\$913.6	\$83.1
3	1523	12	18271	6121	0.15	\$918.1	\$83.5
4	1530	12	18363	6152	0.15	\$922.7	\$83.9
5	1538	12	18455	6182	0.15	\$927.3	\$84.3
6	1546	12	18547	6213	0.15	\$932.0	\$84.7
7	1553	12	18640	6244	0.15	\$936.6	\$85.1
8	1561	12	18733	6275	0.15	\$941.3	\$85.6
9	1569	12	18826	6307	0.15	\$946.0	\$86.0
10	1577	12	18921	6338	0.15	\$950.8	\$86.4
11	1585	12	19015	6370	0.15	\$955.5	\$86.9
12	1593	12	19110	6402	0.15	\$960.3	\$87.3
13	1600	12	19206	6434	0.15	\$965.1	\$87.7
14	1608	12	19302	6466	0.15	\$969.9	\$88.2
15	1617	12	19398	6498	0.15	\$974.8	\$88.6

Tabla 7.8.- Energía Alumbrado Público

Año	PotD	H D	PotN	H N	EDia (Wh)	EAño kWh)	Tarifa Inst	Pago	P MES
0									
1	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
2	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
3	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
4	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
5	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
6	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
7	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
8	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
9	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
10	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
11	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
12	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
13	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
14	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48
15	750	12	120	12	10440	3497	\$0.15	\$525	\$48

Tabla 7.9.- Energía Instituciones

Año	PotD	H D	EDia(Wh)	EAño(kWh)	Tarifa Industrial	Pago	P MES
0							
1	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
2	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
3	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
4	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
5	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
6	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
7	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
8	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
9	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
10	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
11	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
12	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
13	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
14	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175
15	3200	12	38400	12864	\$0.15	\$1,930	\$175

Tabla 7.10.- Energía Industrial

Finalmente tenemos la evolución del consumo de las 4 cargas a través de los años en la tabla 7.11.

AÑO	ER	EA	EINST	EIND	E TOTAL	ER	EA	EINST	EIND	F P
1	8985	6060	3497	12864	31407	29%	19%	11%	41%	17.76%
2	9030	6090	3497	12864	31482	29%	19%	11%	41%	17.80%
3	9075	6121	3497	12864	31558	29%	19%	11%	41%	17.84%
4	9121	6152	3497	12864	31634	29%	19%	11%	41%	17.88%
5	9166	6182	3497	12864	31710	29%	19%	11%	41%	17.93%
6	9212	6213	3497	12864	31787	29%	20%	11%	40%	17.97%
7	9258	6244	3497	12864	31864	29%	20%	11%	40%	18.01%
8	9304	6275	3497	12864	31941	29%	20%	11%	40%	18.06%
9	9351	6307	3497	12864	32019	29%	20%	11%	40%	18.10%
10	9398	6338	3497	12864	32097	29%	20%	11%	40%	18.15%
11	9445	6370	3497	12864	32176	29%	20%	11%	40%	18.19%
12	9492	6402	3497	12864	32255	29%	20%	11%	40%	18.24%
13	9539	6434	3497	12864	32335	30%	20%	11%	40%	18.28%
14	9587	6466	3497	12864	32415	30%	20%	11%	40%	18.33%
15	9635	6498	3497	12864	32495	30%	20%	11%	40%	18.37%

Tabla 7.11.- Energía suministrada a través de los años

### 7.8. Decisiones de Beneficio y Costo

Finalmente veremos los beneficios y costos y el flujo de caja a través de los 15 años, para este cálculo se tiene en cuenta un gasto anual en operación y mantenimiento de \$1800. y un valor residual de \$6000 por los equipos electromecánicos al finalizar el último año:

AÑO	BENEFICIOS			COSTOS			FLUJO DE CAJA
	VALOR ENERGIA (\$)	VALOR RESIDUAL (\$)	BENEFICIO TOTAL	INVERSION (\$)	OPERAC MANTENIM	COSTO TOTAL	
0	\$0.0	\$0.0	\$0	\$32,338	0	\$32,338	-\$32,338
1	\$4,711.0	\$0.0	\$4,711	\$0	1800	\$1,800	\$2,911
2	\$4,722.3	\$0.0	\$4,722	\$0	1800	\$1,800	\$2,922
3	\$4,733.6	\$0.0	\$4,734	\$0	1800	\$1,800	\$2,934
4	\$4,745.0	\$0.0	\$4,745	\$0	1800	\$1,800	\$2,945
5	\$4,756.5	\$0.0	\$4,756	\$0	1800	\$1,800	\$2,956
6	\$4,768.0	\$0.0	\$4,768	\$0	1800	\$1,800	\$2,968
7	\$4,779.6	\$0.0	\$4,780	\$0	1800	\$1,800	\$2,980
8	\$4,791.2	\$0.0	\$4,791	\$0	1800	\$1,800	\$2,991
9	\$4,802.9	\$0.0	\$4,803	\$0	1800	\$1,800	\$3,003
10	\$4,814.6	\$0.0	\$4,815	\$0	1800	\$1,800	\$3,015
11	\$4,826.4	\$0.0	\$4,826	\$0	1800	\$1,800	\$3,026
12	\$4,838.3	\$0.0	\$4,838	\$0	1800	\$1,800	\$3,038
13	\$4,850.2	\$0.0	\$4,850	\$0	1800	\$1,800	\$3,050
14	\$4,862.2	\$0.0	\$4,862	\$0	1800	\$1,800	\$3,062
15	\$4,874.2	\$6,000.0	\$10,874	\$0	1800	\$1,800	\$9,074

Tabla 7.12.- Beneficios y Costos a través del tiempo de la MCH

### 7.9. Valor actual Neto (VAN)

Para hallar el VAN debemos actualizar el flujo de caja a diversas tasas de descuento y sumando estos valores. Para hacer este cálculo se ha elaborado la tabla 7.13:

AÑO	FLUJO DE CAJA	TASA 5%	VANE	TASA 1.0%	VANE
		FACTOR VALOR ACTUAL		FACTOR VALOR ACTUAL	
0	-\$32,338		-\$32,338		-\$32,338
1	\$2,910	0.952	\$2,771.44	0.990	\$2,881.20
2	\$2,920	0.907	\$2,648.79	0.980	\$2,862.75
3	\$2,931	0.864	\$2,531.59	0.971	\$2,844.44
4	\$2,941	0.823	\$2,419.59	0.961	\$2,826.27
5	\$2,951	0.784	\$2,312.57	0.951	\$2,808.24
6	\$2,962	0.746	\$2,210.29	0.942	\$2,790.34
7	\$2,973	0.711	\$2,112.55	0.933	\$2,772.57
8	\$2,983	0.677	\$2,019.14	0.923	\$2,754.93
9	\$2,994	0.645	\$1,929.88	0.914	\$2,737.42
10	\$3,005	0.614	\$1,844.58	0.905	\$2,720.04
11	\$3,015	0.585	\$1,763.06	0.896	\$2,702.80
12	\$3,026	0.557	\$1,685.15	0.887	\$2,685.67
13	\$3,037	0.530	\$1,610.69	0.879	\$2,668.68
14	\$3,048	0.505	\$1,539.54	0.870	\$2,651.81
15	\$9,059	0.481	\$4,357.64	0.861	\$7,803.16
		VAN	\$1,418	VAN	\$14,172

Tabla 7.13.- VAN a las tasas de 5% y 1%

Se puede observar que los valores son positivos pero el mayor VAN se da para una tasa de 1.0% la cual es baja pero tiene una alta rentabilidad social

#### 7.10. Indicador de Beneficio-Costo (B/C)

De acuerdo a la tabla 7.13 se tiene un valor para B/C de 1.04 para una tasa de 5% y de 1.4 a una tasa de 1%. Con esto podemos afirmar que en todo el desarrollo del proyecto el beneficio es ligeramente mayor.

#### 7.11. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Para hallar el TIR hemos usado un método iterativo para diferentes tasas.

	VAN	B/C
	\$1,418	1.0439
5.000%	1418.50	1.0439
5.050%	1292.94	1.0400
5.100%	1168.07	1.0361
5.150%	1043.89	1.0323
5.200%	920.39	1.0285
5.250%	797.56	1.0247
5.300%	675.41	1.0209
5.350%	553.92	1.0171
5.400%	433.10	1.0134
5.450%	312.93	1.0097
5.500%	193.42	1.0060
5.550%	74.56	1.0023
5.600%	-43.66	0.9986
5.650%	-161.24	0.9950
5.700%	-278.18	0.9914
5.750%	-394.48	0.9878
5.800%	-510.16	0.9842
5.850%	-625.22	0.9807
5.900%	-739.65	0.9771
5.950%	-853.47	0.9736
6.000%	-966.67	0.9701
6.050%	-1079.27	0.9666
6.100%	-1191.26	0.9632

Tabla 7.14.- Cálculo Iterativo del TIR

Nuestro TIR es 5.57%

#### 7.12. Análisis de sensibilidad

Nuestro primer análisis corresponde a al VAN, B/C, al pago mensual de cada vivienda en dólares y soles respecto a la variación de la tarifa eléctrica, para una tasa del 1%:

TARIFA	VAN	B/C	PAGO VIVIENDA	
			\$3.48	11.15
0.01	-47808.17	-0.48	0.232	0.74
0.02	-43380.99	-0.34	0.464	1.49
0.03	-38953.81	-0.20	0.697	2.23
0.04	-34526.64	-0.07	0.929	2.97
0.05	-30099.46	0.07	1.161	3.72
0.06	-25672.28	0.21	1.393	4.46
0.07	-21245.10	0.34	1.626	5.20
0.08	-16817.93	0.48	1.858	5.94
0.09	-12390.75	0.62	2.090	6.69
0.10	-7963.57	0.75	2.322	7.43
0.11	-3536.40	0.89	2.554	8.17
0.12	890.78	1.03	2.787	8.92
0.13	5317.96	1.16	3.019	9.66
0.14	9745.14	1.30	3.251	10.40
0.15	14172.31	1.44	3.483	11.15
0.16	18599.49	1.58	3.716	11.89
0.17	23026.67	1.71	3.948	12.63
0.18	27453.84	1.85	4.180	13.38
0.19	31881.02	1.99	4.412	14.12
0.20	36308.20	2.12	4.644	14.86
0.21	40735.37	2.26	4.877	15.61
0.22	45162.55	2.40	5.109	16.35
0.23	49589.73	2.53	5.341	17.09
0.24	54016.91	2.67	5.573	17.83
0.25	58444.08	2.81	5.806	18.58
0.26	62871.26	2.94	6.038	19.32
0.27	67298.44	3.08	6.270	20.06
0.28	71725.61	3.22	6.502	20.81
0.29	76152.79	3.35	6.734	21.55
0.30	80579.97	3.49	6.967	22.29

Tabla 7.15.- Análisis de Sensibilidad para una tasa del 1%

De la tabla 7.15 podemos observar que la tarifa mínima mensual que pueden pagar las viviendas es de S/8.92.

Además, de acuerdo a tabla 7.4, la capacidad de pago de las viviendas es de S/. 15, es decir si pagaran esta cantidad por el consumo de energía, el proyecto fácilmente

podría tener un VAN de \$36308 y un B/C de 2.12. Esto hace que el proyecto atractivo a inversionistas privados.

Finalmente, para una tasa del 12% (de acuerdo a lo establecido para proyectos eléctricos), hacemos variar el VAN y B/C respecto al costo de la energía:

	VAN	B/C	PAGO VIVIENDA	
TARIFA	-\$11,066	0.66	\$3.48	11.15
0.01	-41377.05	-0.28	0.232	0.74
0.02	-39212.00	-0.21	0.464	1.49
0.03	-37046.94	-0.15	0.697	2.23
0.04	-34881.89	-0.08	0.929	2.97
0.05	-32716.83	-0.01	1.161	3.72
0.06	-30551.78	0.06	1.393	4.46
0.07	-28386.72	0.12	1.626	5.20
0.08	-26221.67	0.19	1.858	5.94
0.09	-24056.61	0.26	2.090	6.69
0.10	-21891.56	0.32	2.322	7.43
0.11	-19726.50	0.39	2.554	8.17
0.12	-17561.45	0.46	2.787	8.92
0.13	-15396.39	0.52	3.019	9.66
0.14	-13231.34	0.59	3.251	10.40
0.15	-11066.28	0.66	3.483	11.15
0.16	-8901.23	0.72	3.716	11.89
0.17	-6736.17	0.79	3.948	12.63
0.18	-4571.12	0.86	4.180	13.38
0.19	-2406.06	0.93	4.412	14.12
0.20	-241.01	0.99	4.644	14.86
0.21	1924.05	1.06	4.877	15.61
0.22	4089.10	1.13	5.109	16.35
0.23	6254.16	1.19	5.341	17.09
0.24	8419.22	1.26	5.573	17.83
0.25	10584.27	1.33	5.806	18.58
0.26	12749.33	1.39	6.038	19.32
0.27	14914.38	1.46	6.270	20.06
0.28	17079.44	1.53	6.502	20.81
0.29	19244.49	1.60	6.734	21.55
0.30	21409.55	1.66	6.967	22.29

Tabla 7.16.- Análisis de Sensibilidad para una tasa del 12%

Ante este análisis observamos que fácilmente podemos obtener un crédito poder financiar el proyecto de inversión puesto que la capacidad de pago de los pobladores cubre el costo de la energía y mantiene un VAN positivo y un B/C mayor a 1.

## **CAPÍTULO 8**

### **ASPECTOS AMBIENTALES**

#### 8.1 Generalidades

Los impactos ambientales varían con la ubicación del aprovechamiento y con la solución tecnológica escogida. Desde el punto de vista de la ubicación, un proyecto en la sierra genera diferentes impactos que uno de la selva. Desde el punto de vista tecnológico, los aprovechamientos con embalse generan impactos, cuantitativa y cualitativamente diferentes a los generados por los aprovechamientos de agua de pasada, dentro de los cuales cabría aún distinguir, a estos efectos, entre los que derivan el agua y los que no la derivan.

A continuación se presenta una relación detallada de los impactos ambientales previsibles en cada fase del proyecto, señalando el receptor del impacto, el tipo de impacto y la importancia del mismo a escalas local y nacional.

Subrayamos el hecho de que la relación es exhaustiva y de que un determinado proyecto no tiene porqué producir todos esos impactos. En realidad en unos proyectos aparecerán uno o varios de ellos e incluso puede suceder que un proyecto determinado no de lugar a ninguno de ellos.

<b>Gravamen</b>	<b>Receptor</b>	<b>Impacto</b>	<b>Importancia</b>
construcción de caminos/y tráfico rodado	Público general	Ruidos	baja
		Accidentes	baja
		Efecto de las emisiones en la salud	baja
	calidad del aire	Emisiones de los vehículos	baja
	cambio climático	Emisiones de los vehículos	baja
	Animales salvajes	Disturbios por ruidos	baja
		Accidentes por colisión	media
	Bosque	Mejor acceso al bosque	media
Pérdida producción futura		baja	
Accidentes	Trabajadores	Heridas leves	media
		Heridas graves	alta
		Muertes	alta
Creación de empleo	público general	Beneficios para la localidad	alta
		Beneficios a escala nacional	media

Tabla 8.1.- Impactos Ambientales durante la etapa de construcción

Los impactos de mayor importancia durante la época de construcción son los accidentes que lleven a la muerte o a heridas graves. Una forma de mitigar estos efectos es cumpliendo normas de seguridad y una minuciosa supervisión durante la realización del proyecto. Un impacto positivo alto es la creación de puestos de trabajo para algunos miembros de la localidad.

A continuación veamos los impactos que se pueden generar durante la operación de la microcentral hidroeléctrica:

<b>Gravamen</b>	<b>Receptor</b>	<b>Impacto</b>	<b>Importancia</b>
por excesivo nivel de ruidos	trabajadores	sobre la salud	media
	habitantes	sobre la salud	media
por modificación del caudal	Peces	pérdida de hábitat	Alta
	Plantas acuáticas	pérdida de hábitat	media
	Aves	pérdida de hábitat	media
	Fauna	pérdida de hábitat	media
	Calidad del agua	dilución contaminantes	Baja
	Público general	efectos estéticos culturales y arqueológicos	Alta
			eliminación de cascadas
por embalses y presas	Agricultura	pérdida de terreno	Alta
	Forestal	pérdida producción futura	Alta
	Ecosistema acuático	pérdida de hábitat	Alta
	Público general	clima local	insignific.
		calentam.global (metano)	no probado
	Calidad del agua	eutrofización	Baja
	objetos culturales y arqueológicos	pérdida de objetos	Alta

Tabla 8.2.- Impactos Ambientales durante la etapa de operación

Los impactos que pueden ocurrir en nuestra central son mínimos debido a que no afecta alguna zona arqueológica, no habría pérdida forestal por la existencia ya de las obras civiles. El efecto estético no influye porque la tubería de presión ira enterrada, no existe una cascada que se vaya a eliminar y no hay algún ecosistema que se afecte en el tramo de la tubería forzada.

Lo que si se generaría es una pérdida del terreno al momento de instalar la casa de máquinas.

## 8.2 Impacto Sónico

El nivel de ruido permitido dependerá de los núcleos de población o viviendas aisladas localizadas en el entorno, y del existente antes de realizar el proyecto. Los ruidos proceden fundamentalmente de las turbinas y sobre todo, cuando existen, de los reductores.

Hoy en día es posible reducir el nivel de ruido en el interior de la casa de máquinas hasta situarlo en el orden de los 80 dBA y limitarlo en el exterior a límites tan bajos que resulte prácticamente imperceptible.

## 8.3 Impacto Paisajístico

Todos tendemos a rechazar cualquier cambio, por pequeño que sea, en el paisaje que nos rodea. Una nueva urbanización en nuestra cercanía o una playa artificial con arena procedente de un yacimiento submarino, son rechazadas por buena parte de la localidad, aunque en muchos aspectos, incluso el paisajístico, mejoren las condiciones del entorno.

El problema es particularmente agudo en aquellos aprovechamientos hidráulicos ubicados en una zona de sierra media o alta, ambientalmente sensitiva, o en una zona urbana de carácter histórico. Es indudable que cada uno de los componentes que configuran el aprovechamiento tiene potencial para producir cambios en el paisaje.

El diseño y la ubicación poco afortunada de uno solo de ellos pueden afectar decisivamente a la aceptación del proyecto por el público. Es cierto que se ha

avanzado mucho; desde aquellas minicentrales en las que parecía mostrarse con orgullo el tamaño de sus tuberías forzadas, a las construidas recientemente en parajes ambientalmente sensibles, en las que resulta difícil identificar un solo componente.

Es necesario tomar conciencia del problema y buscar, desde nivel de anteproyecto, aquellas soluciones capaces de provocar el mínimo rechazo.

Finalmente se puede afirmar que el impacto ambiental negativo será mínimo en la zona a desarrollar el proyecto, y en el aspecto positivo no solamente llevará trabajo sino una energía limpia y segura.

## CONCLUSIONES

La primera conclusión es que es posible la sostenibilidad económica del proyecto a una tasa del 12% porque a pesar del aumento del precio de la energía, se está dentro de las posibilidades de pago.

Con el uso dual de las obras civiles destinadas para riego y consumo se logra disminuir el costo de Kilovatio instalado de \$2500 a \$1617, es decir se reduce en un 35% el costo de inversión.

El pago mensual que harían los pobladores de la zona, experimentaría un incremento en \$0.02/kWh durante los años 3, 8 y 13 pero el pago promedio durante los 15 años es de \$3.49/kWh, es decir esta \$0.01 por debajo que el pago mensual del primer año.

Los impactos ambientales son positivos porque generan trabajo y traerá beneficio a la localidad.

En el aspecto técnico, el uso de tecnologías de bajo costo en la tubería forzada reduce sustancialmente el costo de potencia instalada.

Los pasos recomendados para seguir la planificación, se ajustan dentro del desarrollo del proyecto de microcentral.

De las 3 alternativas energéticas renovables y no convencionales, la microhidráulica genera más rentabilidad y menos costo de inversión y costo unitario de energía.

El desarrollo de microcentrales es factible dependiendo del escenario donde se quiera utilizar. Así mismo, contribuimos con el incremento del índice de electrificación del Perú.

La inversión puesta en el desarrollo de microcentrales hidroeléctricas se quedan en empresas peruanas que si tienen la tecnología adecuada para este tipo de equipos, con esto contribuimos con el PBI de nuestro país.

Concluimos finalmente la viabilidad del proyecto desde el punto de vista económico y técnico, debido al uso de tecnologías de reducción de costos y el manejo de cuadros de sensibilidad que nos permite ver la variación de indicadores en la evaluación del proyecto.

Con todo esto se demuestra la pre-factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica de San Pedro de Huacos.

## RECOMENDACIONES

Es necesario implementar dentro de las prioridades no solamente el desarrollo de la electrificación sino el uso de la microgeneración hidroeléctrica, ya que actualmente no existe ningún tipo de política gubernamental efectiva destinada al suministro de energía eléctrica a poblaciones rurales aisladas, que no cuentan con la posibilidad de interconectarse a las escasas redes eléctricas rurales existentes.

A nivel gubernamental es necesario que se implemente una política relacionada con el aprovechamiento de pequeños potenciales hidroeléctricos, que contemple:

- Identificación de pequeños aprovechamientos.
- Promoción de la investigación en el campo de equipos de generación.
- Diseño y planificación de obras.
- Obtención de financiamientos.
- Ejecución de obras.
- Asesoramiento en operación y mantenimiento.
- Asesoramiento en gestión y administración.

Durante la ejecución de la obra se recomienda la participación de las comunidades beneficiadas suministrando mano de obra no especializada en forma gratuita.

Se recomienda que las obras civiles se reduzcan a lo mínimo necesario, dado que normalmente existe la tendencia de sobredimensionarlas.

Que se incentive a realizar un plan de construcción de microcentrales hidroeléctricas en serie. Esto permitiría adquirir equipos y materiales, principalmente de líneas eléctricas, en cantidades, con la consecuente rebaja de costos.

En cuanto se refiere a la operación y administración de las plantas, su transferencia a los beneficiarios, (alcaldías, cooperativas, corregimientos, etc.) presenta las siguientes ventajas:

- Bajos costos de operación y administración, dado que el personal foráneo implica siempre un costo mayor.
- Adopción plena del proyecto por parte de la comunidad.
- Capacitación comunal en el manejo de empresas colectivas.
- La capacitación de personal local para la operación y administración constituye un factor determinante para el éxito del proyecto.

En los aspectos técnicos a resaltar:

En ninguno de los proyectos de este tipo se cuenta con suficiente información hidrometeorológica ni con cartas geográficas a escalas apropiadas. Este problema se

puede subsanar parcialmente realizando todos los aforos que el limitado tiempo de planificación y acopio de datos permitía y empleando técnicas hidrológicas para cuencas con escasa información.

Adicionalmente se agregan unas sugerencias en lo referente a políticas para la promoción de la energía renovable (ver Anexo 1)

**BIBLIOGRAFÍA**

**Cuesta Diego, L., Vallarino, E.** (2000) – *Aprovechamientos Hidroeléctricos* – Ed. del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

**Polo Encinas, M.** (1976) – *Turbomáquinas Hidráulicas* – Ed. Limusa

**Ortiz Flores, R.** (2001) – *Pequeñas centrales hidroeléctricas* – Ed. Mc Graw - Hill

**Gómez Navarro, J., Aracil, J.** (1944) – *Salto de Agua y Presas de Embalse* – Ed. Tipografía Artística

**Grupo Formación de Empresas Eléctricas** (1994) – *Centrales Hidroeléctricas* – Ed. Paraninfo

**Schoklitsch, A.** (1961) - *Arquitectura Hidráulica* – Ed. Gustavo Gili

**Streeter, V., Wylie, E.** (1988) - *Mecánica de los Fluidos* - Edit. Mc Graw Hill

**Zoppetti Júdez, G.** (1974) – *Centrales Hidroeléctricas – su estudio, montaje, regulación y ensayo* – Ed. Gustavo Gili

**Coz, Federico.** (1995) – *Manual de Mini y Microcentrales Hidroeléctricas* - Edit. ITDG

## **ANEXOS 1**

### **POLITICAS NECESARIAS PARA LA PROMOCION DE LA ENERGÍA RENOVABLE SOSTENIBLE**

- Promoción de estrategias claras teniendo en cuenta las experiencias y mejores prácticas desarrolladas en otros países
- Promoción de la electrificación rural como responsabilidad del estado, estableciendo los subsidios necesarios y reconociendo que los sectores rurales no tienen la capacidad económica para invertir en su propia electrificación. Establecimiento de metas claras por año o por períodos, estableciendo los sistemas de monitoreo necesarios sobre su cumplimiento
- Focalización de la atención a la provisión de los servicios eléctricos como una primera fase del desarrollo, mientras que la promoción de los usos productivos como la segunda fase.

- Creación de la capacidad local y nacional para el diseño, implementación y manejo de pequeños sistemas de generación descentralizada.
- Promoción de la alfabetización energética a fin de tener un usuario informado sobre energía, electricidad, opciones energéticas, costos y beneficios.
- Promoción de modelos eficientes de manejo de los sistemas de generación descentralizada, introduciendo conceptos modernos de pequeña empresa y otros.

## ANEXOS 2

### OTRO MÉTODO PARA CALCULAR LA DEMANDA

#### a) Método de Nosaki

Es un método empírico basado en el análisis de experiencias pasadas y puede servir para realizar una estimación rápida de la demanda. El método asume que la potencia instalada per cápita es de 30 a 60 watts/habitante. En primer lugar, se considera la demanda actual proporcionada por la tabla 1, en función del número de habitantes. Por ejemplo: Calcular la demanda actual de un centro poblado de 750 habitantes.

$$Demanda\_Actual = \frac{15 + 35}{2} = 25kW$$

En segundo lugar, se corrige dicha demanda de acuerdo a las características sociales de la comunidad o centro poblado (ingresos, acceso a mercados, negocios, industrias, etc.)

TABLA 1: DEMANDA ACTUAL PARA DISTINTAS POBLACIONES	
Población (habitantes)	Demanda de potencia (kW)
500 – 1,000	15 – 35
1,000 – 2,000	35 – 80
2,000 – 4,000	80 – 180
4,000 – 10,000	180 – 500
10,000 – 20,000	500 – 1,200

### ANEXOS 3

#### EQUIPOS PARA LAS MEDICIONES DEL DESNIVEL

Existen varios aparatos que ayudan a medir el desnivel y el caudal. Algunos requieren de práctica para obtener resultados de precisión.

A continuación describimos varios métodos para medir, incluyendo algunos que no requieren de aparatos ni capacitación especiales, sino que son técnicas sencillas con las cuales cualquier persona puede estimar la potencia de un río con un salto.

##### **Para el salto o desnivel:**

Para medir desnivel, el método de una manguera que se llena con agua es el de menor costo, aunque es lento usarlo. Otros métodos descritos son el uso de alfileres digitales, y niveles Abney (clinómetros).



Estos métodos proporcionan una alternativa rápida y precisa, cuando se usen correctamente. Hoy en día se está volviendo más popular el alfiler digital, y se

están disminuyendo los precios aunque un altímetro de calidad todavía cuesta unos \$200.

Pasemos ahora a describir detalladamente la medición del desnivel:

### Medición del Desnivel

Las técnicas para medición de desnivel, difieren en cuanto a costos, complejidad, y precisión. En general, entre más pequeño sea el desnivel disponible en un sitio dado, más importante será que se mida con precisión.

Se debería medir el desnivel en el lugar donde se va a construir la tubería forzada.

Eso quiere decir que el diseño preliminar del sitio ya habrá sido estudiado, y los lugares probables para la construcción de la casa de máquinas y la cámara de carga.

No se olvide, que se busca la configuración más corta de la tubería forzada mientras a la vez obteniendo el desnivel requerido. El desnivel requerido para un proyecto de este tipo se requerirá de por lo menos 20 metros de desnivel, y mejor que sean 50 metros o más.

	Método	Costo	Precisión	Tiempo	Dificultad	Equipos Requeridos	Cantidad de Personas
1	Manguera llenada de agua	Bajo (\$20)	Se obtienen resultados de precisión con la práctica	Toma tiempo (3-6hras)	Fácil de aprender	Manguera de plástico, cinta métrica, estacas de madera, cuaderno y lápiz.	2 o más
2	Altímetro	Mediano / Alto. (\$200 c.u.) Prestar o alquilar si se puede	+/-1m a +/-5m dependiendo del modelo (se logra mayor precisión con 2 altímetros)	Este es el método más rápido (menos de 1hra)	No requiere destreza especial	Altímetro digital, estacas de madera, cuaderno y lápiz	1 (pero mejor con 2)
3	Clinómetro Abney	Bastante bajo. Prestar o alquilar.	Buena precisión con la práctica	Bastante lento (hasta 2hrs depende de práctica)	Requiere de Práctica	Clinómetro Abney, cinta métrica larga, dos bastones (1.5m), estacas, cuaderno y	2

Comparación de métodos para medir desnivel en metros

**MÉTODO 1:****Manguera Llenada de Agua**

Este es el método más barato. No requiere de aparatos especializados.

Un pedazo de manguera de plástico transparente, de aproximadamente 20 metros de largo y 10 o 12 mm de diámetro, es el equipo principal.

Llenar la manguera con agua de manera que cuando se tienen las dos puntas juntas, el nivel del agua quede a aproximadamente 30 cm debajo de los bordes.

El agua dentro de la manguera siempre buscará el mismo nivel en ambas puntas.

Se puede utilizar un embudo plástico para llenar la manguera con agua. Se deberá de evitar la presencia de burbujas de aire en la manguera, visto que pueden causar errores en las lecturas.

Se quitan las burbujas dejándolas flotar hasta que salgan de la manguera (si hay burbujas muy pequeñas, éstas se pueden dejar, no harán daño).

Se requieren de por lo menos dos personas para realizar el trabajo con este método, pero si hay más personas ellos pueden ayudar en la toma de las mediciones y la anotación de las lecturas obtenidas.

**Procedimiento**

**Paso 1:** Una persona tiene cada extremo de la manguera, y no permiten que se derrame el agua. Para comenzar, el asistente pone su punta de la manguera a la par del nivel esperado de la cámara de presión. (Se marca este nivel en una estaca clavada en el lugar de la cámara de presión.)

Ahora ponga su dedo pulgar sobre la otra punta de la manguera para que no se derrame el agua, y camine cuidadosamente cuesta abajo. Una vez que tenga su ojo a aproximadamente el nivel esperado del agua en la cámara de presión, levante la manguera a nivel de tu cara, y quite su pulgar del extremo de la manguera. Ajustar su posición según sea necesario tal que el nivel del agua en la manguera empareje exactamente con el nivel de su ojo y el nivel marcado en la estaca que representa el nivel del agua en la cámara de presión. Anote que se ha realizado una lectura, y manténgase inmóvil.

**Paso 2:** Ahora el asistente camina cuesta abajo, pasándole a Ud. con su punta de la manguera tapada con el pulgar para que no salga el agua. A medida que el asistente vaya caminando más abajo, Ud. baja su extremo de la manguera hasta que el agua en la manguera llegue al nivel de las suelas de sus zapatos. El asistente deja de caminar hacia abajo cuando el nivel del agua alcance el nivel de sus ojos. Anótese que se ha tomado una segunda lectura.

**Paso 3:** El proceso se repite hasta que una punta de la manguera llega a ponerse en el lugar donde se espera instalar la turbina. Se totalizan la cantidad de lecturas tomadas. Para obtener el desnivel total, se multiplica la cantidad de lecturas por el promedio de las alturas de las dos personas (alturas desde las suelas de los pies hasta los niveles de los ojos). Se deberá repetir el recorrido dos o tres veces hasta asegurar que tengan el desnivel total bien medido.

Es importante en este procedimiento que se señalen bien las posiciones de la cámara de presión y la casa turbina, para que se pueda medir el mismo tramo exacto cuantas veces sea necesario. En caso que haya más desnivel que lo requerido, se puede buscar un punto intermedio.

También se debe medir con cinta métrica la distancia entre las dos estacas, para conocer la longitud requerida de la tubería forzada.

## **MÉTODO 2**

### **Utilización de un altímetro digital para medir desnivel en Kenya**

El uso de altímetros digitales es el método más conveniente para medir el desnivel de un sitio. El altímetro mide elevaciones en base a variaciones de presión atmosférica. El usuario simplemente tiene que registrar una lectura en el lugar propuesto de la cámara de presión y otra en el sitio de la turbina, para determinar el desnivel.

Se debería tomar la segunda lectura lo más pronto posible después de haber tomado la primera lectura para evitar que cambios en la presión atmosférica por motivos del tiempo (tormentas, etc.) afecten las lecturas.

La mejor manera de eliminar los efectos del tiempo es que se utilicen dos altímetros idénticos y se tomen las dos lecturas simultáneamente. En caso de utilizar dos altímetros, uno se mantiene fijo en una sola posición, sea en el lugar de la cámara de presión o la casa turbina. El altímetro fijo se utiliza para verificar cambios de presión atmosférica debidas al tiempo. El otro se utiliza para calcular el desnivel. Se anotan

cualquier cambio de presión causado por el tiempo y posteriormente se utiliza esta información para corregir el valor final del desnivel.

Es fácil repetir las mediciones varias veces para verificar el desnivel. Si los alfileros tienen un ajuste de cero, entonces poner ambos instrumentos en cero en el mismo momento. Acordarse del tiempo requerido para que la persona que lleve el alfilero móvil llegue al segundo lugar. Coordínense relojes y tómense las nuevas lecturas al mismo tiempo. Se restan las dos lecturas para conocer el desnivel. Con los alfileros digitales se espera obtener resultados con una precisión de por lo menos  $\pm 5\text{m}$ , con algunos instrumentos es posible obtener una precisión de  $\pm 1\text{m}$ .

### **MÉTODO 3**

#### **El Clinómetro Abney**

El clinómetro Abney es un instrumento manual de topografía. Requiere de destreza para utilizarla, pero una vez que se domina la técnica, es capaz de medir desniveles con una precisión de  $\pm 5\%$ . En este método, se mide el ángulo de inclinación del terreno. También se mide la distancia inclinada entre los puntos de lecturas. Con el uso de la trigonometría sencilla, entonces se calcula la diferencia en elevación entre los dos puntos. Sumando todas las lecturas en el tramo, se obtiene el desnivel bruto total.

**Procedimiento**

**Paso 1:** Se necesitan dos bastones que tengan 1.5 a 1.6 metros de largo, que estén emparejados en cuanto al largo desde el piso al nivel del ojo (tienen que ser iguales, pero la longitud exacta no importa). Se coloca el primero en el sitio propuesto para la casa de máquinas y el segundo se lleva una distancia de aproximadamente 30m en dirección hacia la captación.

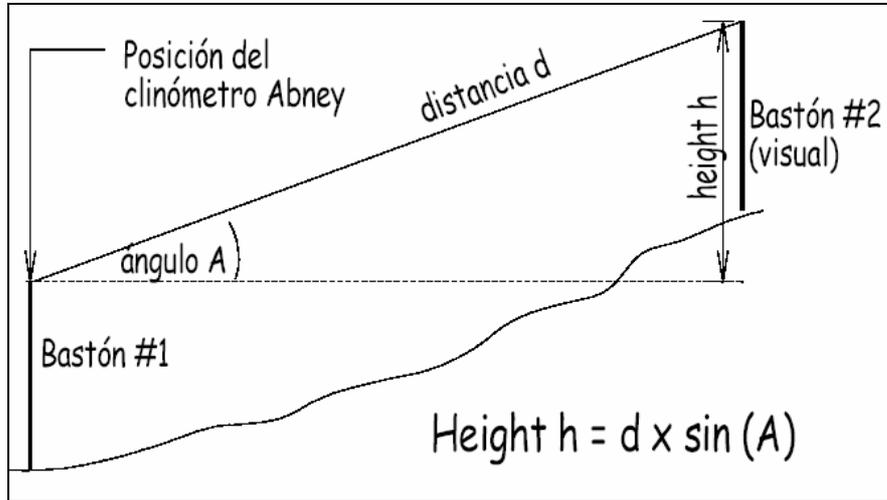
Se necesita una vista limpia, así que eso puede afectar la ruta escogida. Es bueno amarrar una cinta de color brillante o blanco u objeto similar, al mismo nivel (nivel del ojo, sea la punta superior del bastón) en ambos bastones para poderlos ver a distancia.

**Paso 2:** Se mide la distancia entre las puntas superiores de los dos bastones, y se anota esta distancia (distancia  $d$ ). Algunos clinómetros tienen un distanciómetro incorporado para tomar las lecturas de distancia, en caso contrario utilizar una cinta métrica larga.

**Paso 3:** Se lee cuidadosamente el ángulo entre las puntas superiores de los dos bastones, y se anota el ángulo en el cuaderno. Se tiene que mantener ambos bastones exactamente verticales, y el clinómetro descansa sobre uno de los bastones.

**Paso 4:** Este proceso se repite cuantas veces sea necesario hasta llegar al nivel propuesto del agua en la obra de toma o cámara de presión.

**Paso 5:** Los desniveles entre cada par de estaciones se calculan por medio de la ley de senos, y se suman para obtener el desnivel bruto total.



Cálculos del desnivel entre dos puntos, utilizando un clinómetro Abney

Estación No.	Distancia D	Angulo A	D x seno(A)
1	31.5 m	14°30'	7.89 m
2	29.0 m	7°15'	3.66 m
-----			
11	23.1 m	10°20'	4.14 m
		<b>Desnivel total</b>	<b>57 metros</b>

Utilizando el clinómetro Abney, se miden y se apuntan las distancias y los ángulos entre varios puntos sobre la ruta entre la casa turbina y la obra de toma, para después calcular el desnivel total a como se demuestra en la tabla.

## **ANEXOS 4**

### **EQUIPOS PARA LAS MEDICIONES DEL CAUDAL**

#### **Para el caudal:**

Los métodos de medición de caudal descritos a continuación son el método del balde y el método del flotador. Con el método del flotador se obtiene un resultado de menor precisión, pero es una técnica muy fácil de realizar. También hemos incluido la descripción del uso del medidor digital de conductividad para ejecutar una técnica llamada “el trago de sal” y “soluciones salinas”.

#### **Medición del Caudal**

La precisión con la cual se debe medir el caudal, depende del proyecto. La encuesta de la demanda y los estimados del desnivel disponible en el sitio, ayudan a determinar el caudal requerido.

En muchos casos, el caudal disponible será más que suficiente para el proyecto, visto que los caudales requeridos son pequeños. El tiempo más crítico del año es hacia finales de la temporada seca o estiaje, cuando no haya caído lluvia. Este es el mejor momento para medir el caudal. La gente del lugar pueden decir si el nivel del agua en el arroyo es típico para esa temporada del año, y pueden ayudar a quien esté realizando el levantamiento del sitio en estimar los caudales en otras temporadas del año.

A continuación explicamos tres métodos de medición de caudal apropiados para medir caudales pequeños (menores de 50 litros por segundo):

	Método	Costo	Precisión	Dificultad	Tiempo	Aparatos requeridos	Cantidad de personas
1	Método del Balde (apropiado solo para caudales menores de aprox. 10 l/s)	Despreciable	Razonable / mala dependiendo del método utilizado y la experiencia	No difícil	10 minutos + tiempo para represar el arroyo en caso que se requiera	Balde y cronómetro	2
2	Método del Flotador	Despreciable	Mala, aunque puede dar resultados aceptable en canales parejos de lados paralelos	No difícil	30 minutos	Un flotador (pedazo de madera), cinta métrica, cronómetro	2
3	Trago de Sal	Alto (\$200). Prestar / alquilar un medidor	Mediana a Alta con la práctica ( $\pm 5\%$ )	Requiere cuidado	1 hora	Medidor de conductividad, Sal pesada en bolsas, balde, calculadora	1 o más

Métodos apropiados para medir caudales pequeños (caudales menores de 50 l/s)

### 1.- Método del Balde

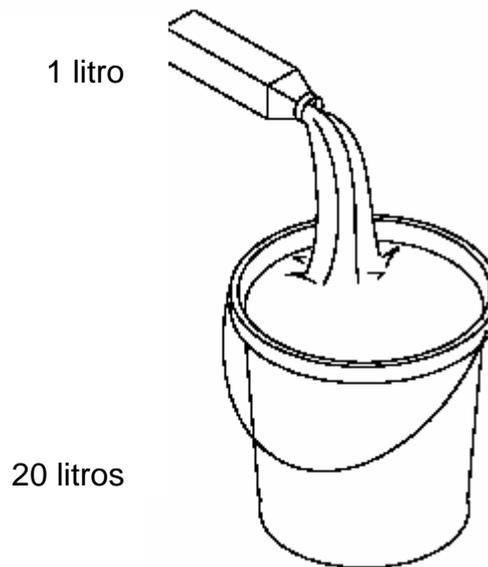
Un método sencillo de medir caudales pequeños (hasta aproximadamente 10l/s) es con un balde y un cronómetro. No solo un balde, sino que otros recipientes grandes e impermeables, pueden utilizarse con tal que Ud. pueda determinar su volumen. Un balde de 15 litros es apropiado para los caudales más pequeños (3 litros por segundo o menores), y recipientes más grandes para caudales más grandes.

#### PASO 1:

##### Medir el volumen del balde (en caso que no esté marcado)

Tómese un recipiente más pequeño y que tenga un volumen conocido. Por ejemplo una botella de agua de un litro. Llénese el balde con agua utilizando el recipiente más pequeño, y cuente cuantos litros toma para llenarse el balde. Una vez llenado el balde

con la cantidad conocida de litros enteros, marque bien el nivel que tiene el agua en el balde.



Utilizar un recipiente pequeño de volumen conocido para medir el volumen de un recipiente más grande.

## **PASO 2:**

### **Encontrar un sitio para medir el caudal**

Eso a veces puede ser difícil. Necesitaremos una manera de dirigir el agua del arroyo adentro del balde. Es importante que el escape de agua sea el mínimo posible. En caso que escape un poco de agua, estimar el porcentaje no medido, y sumar este porcentaje al caudal calculado.

## **PASO 3:**

### **Realizar las mediciones**

Utilizando un cronómetro o un reloj normal que tiene manecilla de segundos, observar y anotar cuántos segundos tarda el chorro de agua en llenar el balde. Repetir

la medición por lo menos 3 veces y promediar los resultados. En caso que el balde se llena en menos de 5 segundos, los resultados no tendrán mucha precisión.

Para mayor precisión, será mejor que busque el recipiente más grande que puede hallar, o intente otro método para la medición del caudal.

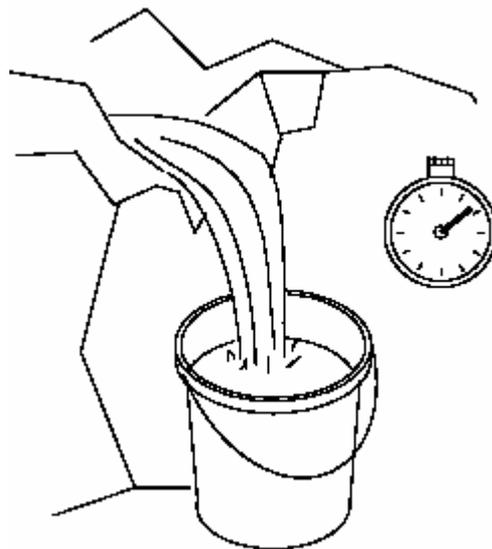
#### **PASO 4:**

##### **Calcular el caudal en litros por segundo**

Ejemplo. Si el volumen del balde es de 15 litros y tarda 8 segundos en llenarse, entonces el caudal es de  $15/8$  l/s o sean 1.87 litros por segundo

##### **Algunas sugerencias de maneras para hacer que el agua fluye a caer dentro del recipiente**

###### 1. Cascada Natural



2. Construir una represa de cualquier material que haya a mano, y utilizar una canaleta hecha de madera, una lámina de zinc corrugado, o el tallo de un guineo para canalizar el agua hacia el recipiente



3. Construir una represa sencilla y utilizar un tubo



## 2.- Método del Flotador

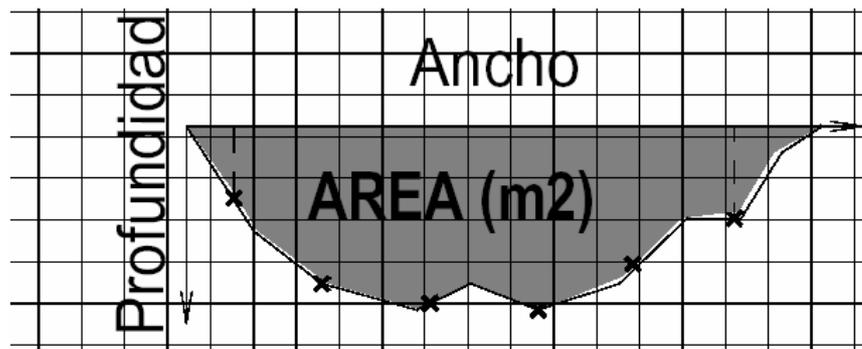
Este método funciona bien en canales. Puede utilizarse también en ríos y arroyos aunque con menos precisión. Dos tipos de información se necesitan para calcular el caudal por este método. Primero el **área seccional** del agua fluyendo por el arroyo o canal. Y segundo la **velocidad** con la cual el agua está fluyendo. La velocidad se mide por medio de un flotador, observando y anotando el tiempo que tarda para flotar desde un punto corriente arriba, hasta un punto a una distancia conocida corriente abajo.

### Procedimiento

#### PASO 1:

##### Encontrar el área seccional (AS).

La dificultad en encontrar el área seccional depende del tipo de lecho del agua. Es mucho más fácil en un canal de lados regulares y lisos, que en un arroyo de poca profundidad con lecho rocoso. Para estimar el área seccional del cauce en un punto dado, médase primero el ancho y después tómesese mediciones de la profundidad del agua a intervalos regulares a través de la sección. Dibujar los resultados de estas mediciones en papel cuadrículado a como se ve en la figura:



Se utiliza papel cuadrículado para estimar el área seccional.

Unir los puntos medidos con líneas rectas sobre el papel cuadriculado para obtener un área cerrada. Contando los cuadritos encerrados se obtiene un estimado del área seccional.

Multiplíquese la cantidad de cuadritos por el área que cada cuadrito representa en  $m^2$ . Repetir estas mediciones en el centro y también en el otro extremos del tramo de prueba del cauce (el tramo debería ser de aproximadamente 10 metros de largo). De tres valores medidos, se calcula el promedio.

## **PASO 2:**

### **Medir la velocidad del flujo (velocidad superficial).**

Una distancia (L) de 10 metros entre los puntos de medición deberá ser suficiente. Tirar el flotador al agua corriente arriba del primer punto. Comenzar la lectura con cronómetro cuando el flotador pase el primer punto, y terminarla cuando pase el segundo punto. Repetir esta medición por lo menos tres veces para verificar que tenga resultados consistentes. Para la prueba, escoger la sección más recta y pareja del cauce.

## **PASO 3:**

### **Calcular el caudal en litros por segundo**

El caudal es el producto del área seccional promedia del agua multiplicada por la velocidad promedia de flujo. Visto que el agua fluye más rápido en la superficie que en las profundidades, hay que introducir un factor que compensa estas variaciones. La diferencia entre la velocidad superficial del agua que medimos con el flotador, y la velocidad promedia real, depende de la naturaleza del arroyo. Abajo aparecen unos

valores aproximados de “factores de corrección de velocidad”. Se indica también el nivel de precisión que se puede esperar obtener por este método de estimación de caudal.

Tipo de arroyo	Factor de corrección de velocidad	Precisión
Canal rectangular con lados y lecho lisos	0.85	Buena
Un río profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo muy poco profundo de lecho rocoso	0.25	Muy mala

La ecuación que se utiliza para calcular el caudal es:

$$[ Q ] = A_{S_{prom}} \times V_{superficial} \times \text{Factor de Corrección}$$

En donde:

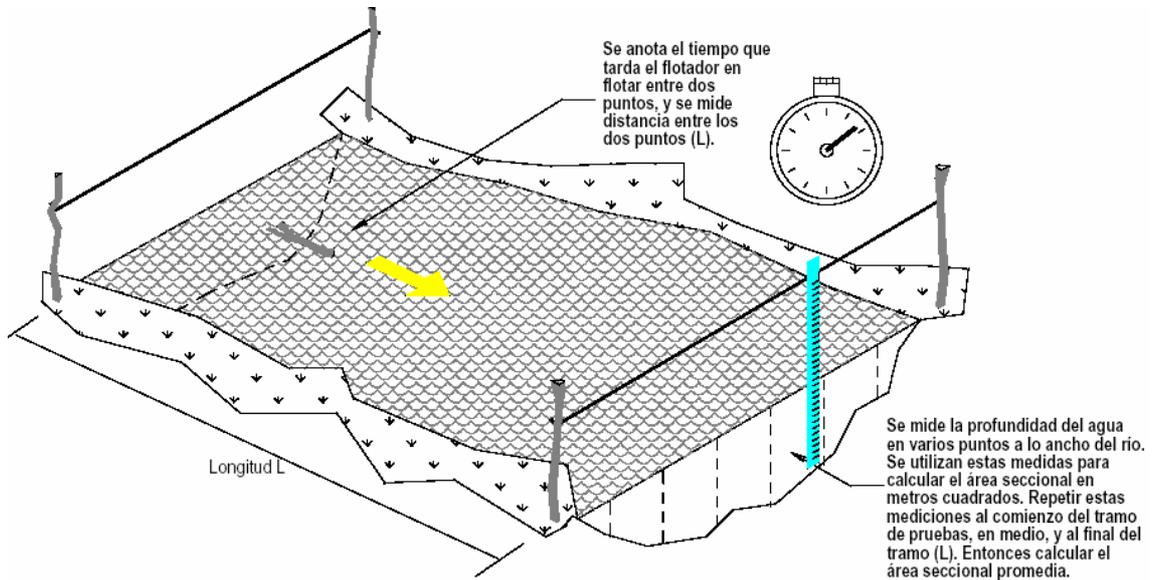
Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A<sub>S<sub>prom</sub></sub> = Área seccional promedia (m<sup>2</sup>)

V<sub>superficial</sub> = Velocidad medida sobre la superficie (m/s)

Multiplicar el resultado por 1000 para conocer el caudal en litros por segundo.

Obviamente, la precisión del método del flotador es limitado debido al requerimiento de los factores de corrección y por la dificultad en medir el área seccional de la mayoría de los arroyos.



El método del flotador para medir caudal

### 3.- El método de soluciones salinas

Este método requiere de cálculos más complicados que los otros métodos, pero es más fácil ejecutar en el campo. Adquiriendo un poco de práctica, éste puede ser el método más conveniente rápido y preciso para medir el caudal de un arroyo.

Se requiere de un medidor portátil de conductividad, y algún medio para pesar la sal con precisión. Medidores digitales de conductividad se están volviendo cada vez más comunes y se espera que eventualmente estarán disponibles en todas las áreas donde se realizan instalaciones de generación.

Ayuda tener acceso a una computadora. Una hoja de cálculo permite calcular rápidamente el caudal en base a los datos de campo. Si no se dispone de una computadora, se puede también utilizar una calculadora y papel cuadriculado para calcular los resultados.



Medidor portátil de conductividad y bolsas cuidadosamente pesadas de sal

Este método da una precisión de 5% cuando se lleve a cabo con cuidado. Se basa en el hecho que la conductividad del agua de un arroyo aumentará cuando se le añada sal. El caudal se conoce mediante la medición de la velocidad y la concentración de una nube de agua salada, a medida que fluye por el arroyo.

### **Procedimiento:**

#### **PASO 1:**

##### **Añadir la solución de agua salada al arroyo**

Una cantidad de sal cuidadosamente pesada se mezcla con un poco de agua en un balde, hasta que disuelva completamente. La cantidad de agua en el balde no importa, pero una vez añadida la sal, no se debe partir el agua ni derramar ni una gota. Anotar el peso de la sal utilizada, al gramo.

Entonces toda la solución de agua salada se echa al arroyo. La cantidad de sal a utilizar depende del tamaño del arroyo. Como estimado preliminar, se utiliza aproximadamente 25 gramos de sal por cada 5 litros por segundo de caudal (habrá que adivinar el caudal para el primer intento).

## **PASO 2:**

### **Anotar la conductividad aguas abajo.**

Se coloca el probador del medidor de conductividad en una parte del arroyo donde el agua fluye con rapidez, a una distancia de aproximadamente 25 a 30 metros aguas abajo de donde se echó la solución de agua salada. A eso se le llama la “conductividad de fondo”. En cuanto las lecturas de conductividad comiencen a aumentar, anotar cada 5 segundos. Usualmente el aumento de conductividad comienza 2 o 3 minutos después de haber vertido el agua salada aguas arriba. Si dentro de 15 minutos la conductividad no ha subido a por lo menos dos veces la conductividad de fondo, habrá que repetir el proceso utilizando una cantidad mayor de sal. Se sigue tomando las lecturas cada cinco segundos hasta que la conductividad vuelva a su nivel de fondo.

Normalmente eso tarda entre 10 a 15 minutos. Cuando sea posible, seleccionar una escala del medidor de conductividad que sea justamente lo suficiente para ver la conductividad máxima a leer durante la prueba. Eso puede causar que se echen a perder el primer corrido de resultados.

Las lecturas típicamente se dan en unidades de Siemens S) las cuales son unidades de conductividad equivalentes a  $(\text{ohms}^{-1} \times 10^{-6})$ .

**PASO 3:****Graficar el cambio de concentración de sal como función del tiempo**

Se trazan las lecturas de conductividad como función de tiempo en papel cuadrado. La forma de la curva permite evaluar los resultados.

Una curva regular, con un máximo de por lo menos el doble de la conductividad de fondo en el centro, indica que se ha realizado exitosamente el procedimiento. En caso que la curva salga asimétrica o dispereja, habrá que repetir el procedimiento.

**PASO 4:****Calcular el área debajo de la curva**

Deberá de conocerse el área debajo de la curva en el gráfico para conocer el caudal. Eso se hace sea contando los cuadritos que están debajo de la curva en el papel cuadrado, o sea sumando todas las lecturas con la hoja de cálculo en la computadora. En caso de contar los cuadritos manualmente, se debe tomar en cuenta las escalas que se han ocupados en los ejes del gráfico.

**PASO 5:****Calcular el caudal**

La ecuación para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{M \times k^{-1}}{A}$$

Donde:

Q = caudal (l/s)

M = masa de sal (mg)

$k^{-1}$  = factor de conversión ( $\text{ohm}^{-1}/\text{mg l}^{-1}$ )

A = área debajo de la curva ( $\text{s} \times 10^{-6} \times \text{ohm}^{-1}$ )

La conductividad se convierte en concentración de sal por medio de la multiplicación por un factor de conversión que toma en cuenta la temperatura del agua. El factor de conversión,  $k^{-1}$  tiene unidades de  $\text{ohm}^{-1}/\text{mg l}^{-1}$  y cuando la temperatura es  $22^{\circ}\text{C}$ , el valor es de 2.04.

Nota: Se tiene que convertir la masa de la sal a miligramos ( $\text{gramos} \times 10^3$ ) antes de usarla en la ecuación