

## RESUMEN PFC

# **Estudio para el desarrollo de centrales microhidráulicas. Aplicación a zona rural subdesarrollada**

Autor: Jaime Castellano Galán

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial esp. Electricidad

Departamento: Ingeniería Eléctrica

## **1 INTRODUCCIÓN**

Este proyecto consta básicamente de dos partes diferenciadas: en primer lugar, un estudio general sobre la implementación de microcentrales hidroeléctricas en zonas subdesarrolladas y, en segundo lugar, se ha realizado un estudio práctico de implementación en una zona determinada de Perú, concretamente en el pueblo de Chambamontera, provincia de Jaén, Perú.

El proyecto cuenta con la cooperación de un organismo de colaboración técnica internacional llamado ITDG-Perú, quienes han proporcionado información acerca de la microcentral. Aún así, no se ha podido disponer de datos suficientes sobre el terreno donde se debe construir la microcentral, por lo que en el proyecto no se han determinado ninguno de los componentes que conciernen a la obra civil. Sin embargo se ha descrito, en parte, los componentes y las tecnologías más apropiadas para la microcentral, considerado previamente que no todos los sistemas son iguales y que pueden variar según cada caso en cuestión.

El estudio se ha centrado principalmente en la selección de los componentes eléctricos para la microcentral, mediante la justificación técnica de los elementos más relevantes de la instalación, como son la turbina hidráulica, el generador, y el transformador. Además, se ha utilizado su posible viabilidad económica utilizando el método descrito de gestión de pequeños sistemas eléctricos aislados.

### **1.1 Origen del proyecto**

El presente proyecto surge del interés por contribuir en el desarrollo de aquellos países y de aquellas regiones subdesarrolladas, en las cuales su situación tanto a nivel social como económico no les permite disponer de las tecnologías suficientes y necesarias para alcanzar un buen nivel de vida. Concretamente nos centraremos en un poblado del interior de Perú.

Como en muchos países sudamericanos existe un desarrollo mucho mayor en las grandes ciudades como puede ser Lima (capital de Perú). Ésta tendencia afecta a todas aquellas zonas rurales, las cuales se ven marginadas y se aprecia un deterioro tanto a nivel económico como social y cultural.

La marginación de estas zonas también causa que más del 67% de la población rural no tenga suministro de electricidad. Este problema no solo causa un deterioro en la población afectada, sino que además impide a las familias superar la difícil situación en las que se encuentran.

En este proyecto, nos centraremos en un pequeño pueblo de unos 800 habitantes llamado Chambamontera que se encuentra al norte del país en la región de Cajamarca, provincia de Jaén. Los habitantes de Chambamontera principalmente se dedican a la actividad agropecuaria.

La población se abastece de alumbrado a través de lámparas a kerosén y velas. Hay algunas familias que poseen pequeñas baterías para mover pequeños equipos de radio y televisión. A la hora de cargar las baterías se tienen que desplazar hasta Jaén, una distancia de aproximadamente 20 kilómetros por un camino de tierra el cual es prácticamente intransitable para vehículos a motor. El costo que tiene el recargar estas baterías es aproximadamente de S/.5.00 (La moneda oficial de Perú es el Nuevo Sol (S/.), donde aprox. 1 \$US son S/.3.18). En general se puede indicar que las familias están efectuando un gasto promedio en energía entre S/. 15.00 y S/. 20.00 al mes, con la consecuencia de contaminación a las que están expuestas día tras día.

### **1.2 Objetivos del proyecto**

El objetivo principal del proyecto realizado es ofrecer a las comunidades subdesarrolladas que se encuentran aisladas, de un sistema de electrificación por medio de la implantación de una microcentral hidráulica y de este modo subsanar las dificultades que conlleva el no disponer de electricidad, participando en un caso concreto con “Soluciones prácticas ITDG-Perú” un organismo de cooperación técnica internacional de origen británico con

más de 20 años contribuyendo a erradicar la pobreza en Perú, quien nos ha proporcionado la información necesaria para elaborar el estudio para la implementación de una microcentral hidroeléctrica en Chambamontera.

No obstante, no se trata de un estudio estrictamente técnico dentro del campo de la Ingeniería Eléctrica, sino que se mezclan los aspectos sociológicos ya que se ponen los conocimientos de la ingeniería al servicio de las personas y sus necesidades reales para tratar de solventar los problemas que padecen.

## 2 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Existen diversos sistemas de producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas. Estos sistemas se pueden clasificar según su rango de potencia instalada:

Clase	Rango de Potencia
Pico Hidroeléctrica	Hasta 10 kW
Micro Hidroeléctrica	10 a 100 kW
Mini Hidroeléctrica	100 kW a 1MW
Pequeña Hidroeléctrica	1 MW a 10 MW
Mediana Hidroeléctrica	10 MW a 100 MW
Gran Hidroeléctrica	Superior a 100 MW

Tabla 1: Clases de centrales hidroeléctricas

Además, se pueden clasificar en dos grupos, centrales hidroeléctricas con caudal fluyente (de derivación) y centrales hidroeléctricas con caudales en parte retenidos, en uno o en varios embalses.

Las centrales que trabajan con caudal fluyente, son aquellas instalaciones que mediante una bocatoma, captan parte del caudal del río y lo conducen a través de canales hacia la turbina para aprovechar la energía del agua y después devolverla al cauce del río. Esta aplicación es la utilización más frecuente en aquellas centrales de mediana y pequeña potencia. Este tipo de centrales tiene un impacto en el medio ambiente mínimo, ya que al no bloquear el cauce del río, no inunda los terrenos adyacentes.

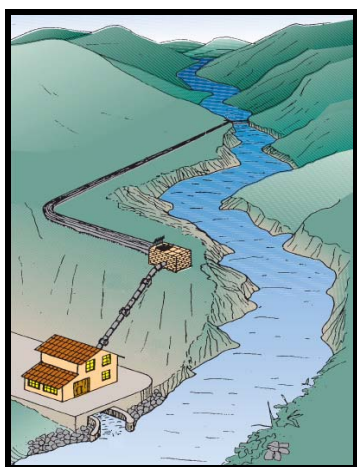


Figura 1: Esquema de una central de agua fluyente o de derivación

Por otra parte, las centrales hidroeléctricas a pie de presa tienen la opción de almacenar toda la energía del agua de un río mediante un embalse. En estas centrales, se regulan los caudales de salida para utilizarlos cuando sea necesario, en un sistema eléctrico serían centrales punta, así que generará electricidad en aquellos momentos donde los consumos son más elevados. Estas centrales presentan varios inconvenientes, como son la inundación de terrenos fértiles y en ocasiones poblaciones que es preciso evacuar y la fauna acuática puede ser alterada si no se toman medidas adecuadas. Estas aplicaciones se suelen utilizar en centrales de mediana y gran potencia donde el caudal aprovechado por las turbinas es proporcionalmente muy grande al caudal promedio anual del que el río dispondría.



Figura 2: Esquema de una central a pie de presa o caudal retenido

Para una zona rural subdesarrollada, el sistema a instalar más utilizado son las centrales hidroeléctricas de agua fluyente. Estas presentan las siguientes ventajas e inconvenientes.

### Ventajas

- 1) Es una fuente limpia y renovable de energía.
- 2) Es un recurso ampliamente disponible en muchos de los sitios de Sudamérica.
- 3) Bajos costos de operación.
- 4) Generación de energía generalmente continua.
- 5) Funcionamiento a temperatura ambiente.
- 6) Son centrales eficientes (75%-90%).
- 7) Larga vida útil.
- 8) Se pueden combinar con sistemas de regadío.
- 9) Permite el desarrollo productivo y económico de la comunidad.

### Inconvenientes

- 1) Presentan un alto costo inicial.
- 2) Están condicionadas por las condiciones topográficas e hidrológicas del lugar, dado que las transmisiones a largas distancias se ven limitadas por el coste.
- 3) La potencia del suministro esta condicionada por el recurso natural existente. Esto implica que es difícil la posibilidad de extender el suministro en caso de producirse una demanda mayor.
- 4) Es posible que según la temporada varíe el nivel del caudal, por lo tanto, es recomendable hacer

- un buen estudio hidrológico para evitar posibles problemas posteriores.
- 5) Necesidad de estudios técnicos que impliquen un costo añadido.

### 3 ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UNA MCH EN CHAMBAMONTERA (PERÚ)

A la hora de realizar el estudio se debe tener en cuenta de que la información obtenida y aportada por ITDG-Perú es escasa, ya que el proyecto se prevé realizar dentro de aproximadamente de 3 ó 4 años, y no se esperan obtener a corto plazo, datos de estudios hidrológicos.

Por esta razón, dejaremos a banda el estudio de la obra civil y nos centramos, a partir de estimaciones elementales del caudal y de la altura bruta del salto, en la selección de los componentes tales como la turbina, el generador, el transformador y la línea de media tensión.

Gracias a los datos aportados por ITDG-Perú sabemos que el estudio hace referencia a un pequeño arroyo situado aproximadamente a 1 km. de distancia del poblado de Chambamontera. Dicho arroyo es nombrado por la gente de allí como Gentil y su aforo realizado en tiempo de ausencia de lluvias es aproximadamente de 50 lts/seg., de los cuales se tomará para el diseño de la MCH un caudal máximo de 40 lts/seg. contando con una altura útil de 75 metros y aplicando una tubería de presión corta de P.V.C. y diámetro de 6". A partir de estos datos, se diseñan la turbina hidráulica a utilizar y se seleccionan los principales componentes eléctricos como el generador, el transformador y la línea aérea.

Con estos datos y la figura que aparece a continuación, se puede deducir el tipo de turbina a utilizar en la MCH.

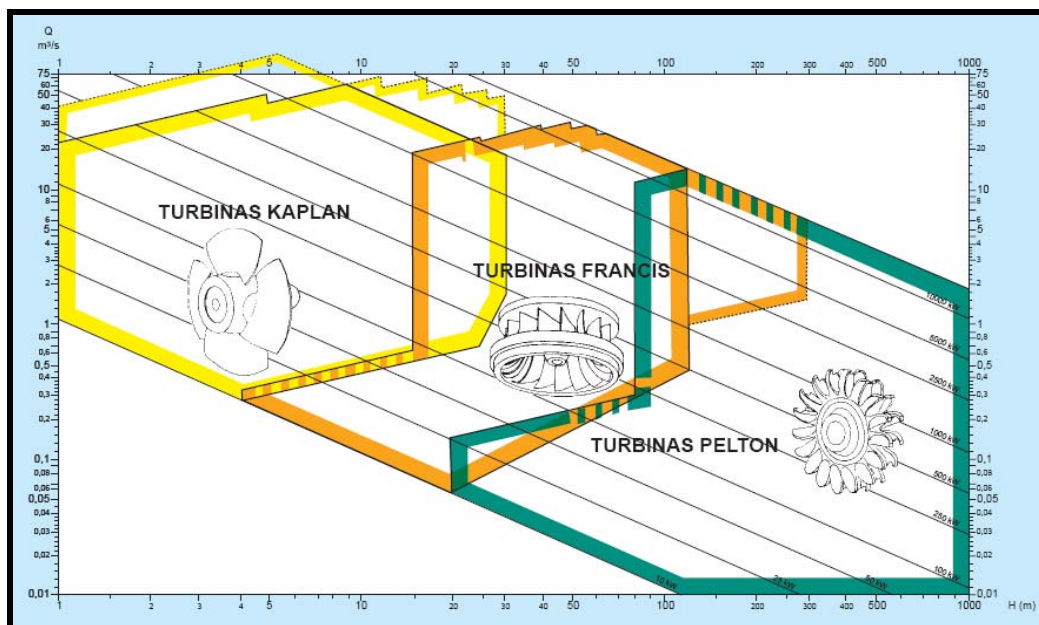


Figura 3: Diagrama de selección de turbinas hidráulicas caudal / altura

#### 3.1 Turbina Pelton

Las turbinas del tipo Pelton son las turbinas de acción más utilizadas en aplicaciones donde se disponen de unos grandes saltos (de 20 metros a 1000 metros aprox.) y caudales relativamente pequeños (de 0.01 m<sup>3</sup>/s a 20 m<sup>3</sup>/s).

Las dimensiones de los álabes de una turbina Pelton, son proporcionales al diámetro del chorro del agua que sale de los inyector.

El diámetro del chorro requerido para el diseño de los álabes se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V \times j}}$$

Donde :

- d, es el diámetro del chorro. [m]
- Q, es el caudal de diseño. [m<sup>3</sup>/s]
- V, es la velocidad absoluta del chorro. [m/s]
- j, es el número de chorros de la turbina.

Para el cálculo de velocidad absoluta del chorro podemos considerar la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que el coeficiente de tobera varía entre 0.97 y 0.99.

$$V = C_{vt} \times \sqrt{2gH_n}$$

Donde :

-V, es la velocidad absoluta del chorro. [m/s]

- $C_{vt}$ , es el coeficiente de tobera.

-g, es la constante de gravitación. [9.81 m/s<sup>2</sup>]

- $H_n$ , es la altura neta. [m]

En la siguiente figura podemos observar la forma y las dimensiones de los álabes en función del diámetro del chorro.

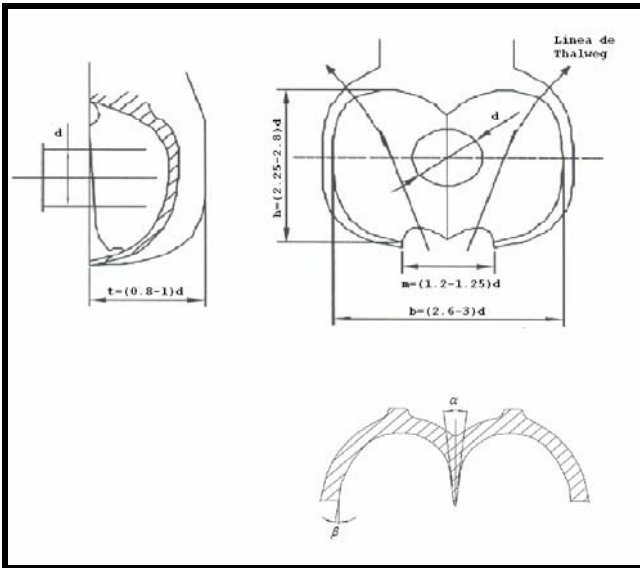


Figura 4: Forma y dimensiones de los álabes

### 3.2 Generador

El generador a utilizar es del tipo síncrono trifásico brushless de 4 polos.

Los generadores síncronos, son muy utilizados en aquellas aplicaciones para sistemas aislados y a diferencia de los generadores asíncronos, no precisan de un sistema auxiliar (condensadores) para la arrancada, ya que se pueden arrancar en vacío. Se ha optado por el sistema brushless para reducir las necesidades de mantenimiento del generador, cuestión importante en este tipo de aplicaciones.

### 3.3 Transformador

El transformador debe elevar la tensión generada por el generador hasta un valor normalizado y apropiado para el transporte. Este transformador debe corresponder con las características del generador (0.44 kV) y de la frecuencia del sistema (60 Hz).

Se ha elegido la aplicación de un transformador de la casa de ABB tipo poste. Estos transformadores son muy utilizados para la distribución en zonas rurales aisladas donde la potencia de suministro no es muy elevada. Por esta razón, este tipo de transformadores están provistos de

interruptores automáticos y seccionadores para la protección del sistema.

### 3.4 Línea de media tensión

El sistema no genera una cantidad importante de energía para poder abastecer a la población, de la potencia suficiente como para poder instalar electrodomésticos de gran consumo en las viviendas.

Para evitar grandes pérdidas en la línea, se ha considerado que el transporte se realice en línea aérea trifásica de media tensión (24 kV).

Por la información facilitada por ITDG, sabemos que las familias que se benefician del servicio son un total de 50.

La potencia útil del sistema es de 17.3 kW, por lo que cada vivienda contará con una potencia máxima instalada de 346 W. Como es de suponer, las aplicaciones que se podrán llevar a cabo con la potencia instalada serán básicamente para la iluminación y la instalación de alguna radio y/o pequeña televisión y de algún pequeño electrodoméstico.

## 4 FINANCIAMIENTO

Desde el año 1985 ITDG-Perú trabaja en el desarrollo de la electrificación rural y en la promoción de la utilización de las energías renovables.

Durante todo este tiempo se ha estado intentando promover la creación de un sistema de financiación, hasta que se logró crear, en el año 1992, el proyecto FONDO que ayudaría a la creación de un mayor número de MCHs en distintas zonas del Perú.

Este fue un proyecto promovido por el sector pequeña empresa del Banco Internacional de Desarrollo (BID) y ejecutado por ITDG, a través del cual se implementó un modelo financiero que combina un crédito blando con un fuerte co-financiamiento de diferentes instituciones entre las cuales están el gobierno central, gobiernos regionales y locales, organismos bilaterales, multilaterales y la población.

## 5 MODELO DE GESTIÓN DE SERVICIOS DE PEQUEÑOS SISTEMAS ELÉCTRICOS AISLADOS

Por medio del siguiente modelo desarrollado por ITDG-Perú conseguiremos evitar grandes problemas ya que en la mayoría de los casos, si no se aplica una buena gestión, la implementación del sistema podría no recuperar la inversión realizada.

El objetivo del modelo de gestión es el manejo eficiente de pequeños sistemas eléctricos aislados, consiguiendo de este modo la sostenibilidad de los mismos.

En este modelo de gestión participan cuatro actores principales, que son, el propietario, la empresa operadora del servicio, los usuarios y un comité de fiscalización. Cada uno de ellos están relacionados entre si y deben seguir unas normas y obligaciones, respetando el marco legal vigente.

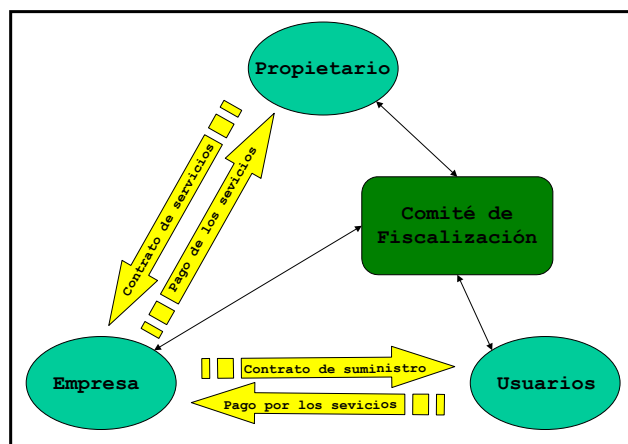


Figura 5: Diagrama del modelo

## 6 PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se presenta un presupuesto de los principales componentes de la microcentral excluyendo la parte referente a la obra civil.

Se debe considerar, que el grupo turbina – generador no son materiales fabricados en Perú, si no que son fabricantes europeos. Eso podrá verse reflejado en el coste total del sistema, siendo este más caro, pero también más fiable al no disponer de transmisión mediante correas ya que el eje de la turbina esta acoplado directamente al eje del generador.

TOTAL CONCEPTOS		
UNIDADES	DESCRIPCIÓN	
1	CONCEPTO 1: TURBINA-GENERADOR	17.650 €
	- TURBINA	
	- GENERADOR	
	- CUADRO ELÉCTRICO DE CONTROL	
	- REGULADOR ELECTRONICO DE CARGA	
2	CONCEPTO 2: TRANSFORMADOR	5.600 €
3000m	CONCEPTO 3: LÍNEA AÉREA	1.110 €
<b>TOTAL CONCEPTOS</b>		<b>24.360 €</b>

## 7 CONCLUSIONES

El proyecto realizado, partiendo de la información facilitada por ITDG, ha demostrado que la instalación de una microcentral hidroeléctrica en el poblado de Chambamontera, es viable técnicamente. Aún así, para su puesta en práctica deberían completarse los estudios de

campo en la zona en cuestión para evaluar adecuadamente las posibilidades de implantación de la obra civil de la microcentral y de la línea de transporte de electricidad.

Para poder saber si económicamente el proyecto sería viable, se precisaría de un estudio de las necesidades reales de utilización de electricidad y de la determinación del préstamo por parte del BID, teniendo en cuenta de que la parte de la obra civil no se ha evaluado. Caso de que la microcentral pudiera llevarse a cabo, sería necesario un replanteamiento en la selección de los materiales, equivalentes a los seleccionados en el proyecto desde el punto de vista técnico, pero a poder ser con disponibilidad directa en el país de origen.

Por otro lado, podemos afirmar, que se han adquirido en la realización del proyecto, los objetivos planteados, principalmente en la parte más importante que es dar el primer paso, para ayudar con la realización de este proyecto a que el día a día de las personas que se benefician, sea más sencilla, más saludable y menos costosa.

También podríamos señalar que el proyecto puede servir como guía para el desarrollo de proyectos similares que estuviesen enfocados a zonas rurales, ya que proporciona una visión general de todos los componentes que conforman el sistema, además de tener en cuenta los impactos medioambientales. El capítulo referente a las partes que componen una microcentral puede ser una buena referencia para el inicio de estudios de implantación en zonas rurales subdesarrolladas.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

### Libros:

- (1) MANUEL POLO ENCINAS. Turbomáquinas Hidráulicas. Ed.: Limusa. Primera edición.
- (2) FRANK M. WHITE. Mecánica de Fluidos. Ed.: Mc Graw Hill. Quinta edición.
- (3) ANGEL L. ORILLE. Centrales Eléctricas. Ed.: Ediciones UPC 1996. Segunda edición.

### Manuales:

- (4) Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG-Perú.  
<http://itdg.org.pe/archivos/>

### Páginas web consultadas:

- (5) <http://itdg.org.pe>  
(ITDG – Intermediate Technology Development Group)
- (6) <http://minem.gob.pe/>  
(MINEM – Ministerio de Energía y Minas. Republica de Perú)