



Diseño de la central hidroeléctrica “El Altar”

“El Altar” hydroelectric plant design

**Marco Antonio Ordoñez Viñán^(*), Edwin Fernando Viteri Núñez^(a),
Carlos Oswaldo Serrano Aguiar^(a), Lenin Santiago Orozco Cantos^(a)**

^(a) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

^(*) marco.ordonezo@espoch.edu.ec

Resumen

Una de las responsabilidades de la universidad ecuatoriana es desarrollar proyectos de vinculación, especialmente en los sectores menos favorecidos, que son los que más asistencia técnica requieren. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y su Facultad de Mecánica conjuntamente con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la Parroquia “El Altar”, desarrollan como proyecto de vinculación el diseño definitivo de la central hidroeléctrica El Altar. En el proyecto se aprovecha la topografía y el caudal del río Puela que está ubicado en la parroquia El Altar, cantón Penipe, provincia de Chimborazo, para generar 10 MW de potencia eléctrica. Se presenta una nota técnica sobre los conceptos básicos relacionados con la generación hidroeléctrica, parámetros de diseño y se muestra una descripción de los elementos considerados en el estudio. Se realizaron cálculos para determinar las dimensiones de los elementos civiles y mecánicos empleados, basados en datos tomados en el sector, permitiendo establecer la captación con una bocatoma lateral. La conducción debido a la topografía de la zona estará compuesta de tubería, hasta llegar al tanque de carga que alimenta a dos tramos en paralelo de tubería de presión para llegar a las unidades generadoras ubicadas en la casa de máquinas. Se presenta el análisis de presupuestos y costos del proyecto.

Palabras clave: generación, hidroelectricidad, subestación.

Abstract

One of the responsibilities of the Ecuadorian University is to develop projects for disadvantaged sectors. The School of Mechanical of Polytechnic School of Chimborazo and the “Gobierno Autónomo Descentralizado – GAD” worked together for a design of a hydroelectric power plant. The following paper presents an analysis of the relevant topography, Puela’s river flow, and some basic concepts related to hydroelectric generation. Calculations were used to determine the dimensions of both civil and mechanical elements, based on data collected in the site of study, thus allowing an effective relations between the two . The design will consist of piping up water to the load tank which then feeds two sections, in parallel of the pressure pipe, to reach the generating units located in the machinery house. Subsequently, the electro-mechanical equipment was selected, and it was suggested that a transmission yard be constructed. An environmental impact study was conducted weighing the important positive and negative effects. The analysis of budgets and project costs is presented.

Key words: generation, hydroelectricity, substation.

Recibido 30-06-2016
Aprobado 18-10-2016



¿A qué problema social contribuye esta investigación?

Actualmente, el estado se ha enfocado en el cambio de la matriz energética, razón por la cual es necesario aportar con la generación de energía eléctrica para el sistema interconectado nacional. La energía que se pretende generar en la parroquia El Altar a más de ser un aporte en el incremento del potencial energético del país, reavivará la industria local, promoviendo la creación de nuevas fuentes de empleo y además la generación de recursos económicos para la sostenibilidad del GAD parroquial.

El punto de partida para el inicio de este proyecto es la disponibilidad del recurso hídrico existente en el sector como el río Puela; que con su caudal a más de aportar al sector agrícola, abastece también para la generación eléctrica por poseer un caudal relativamente constante durante el año.

La importancia del proyecto se verá reflejada también en el aporte que dará a los cultivos de la localidad, ya que la conducción del fluido servirá también para regadío; al no estar operativas las turbinas en su totalidad, el excedente de fluido será destinado para el mencionado objetivo, llamado así un proyecto multipropósito.

1 Introducción

La parroquia el Altar es afectada por el constante crecimiento de contaminación, debido a la emanación de gases producto de los combustibles fósiles y el uso de derivados de petróleo en la producción de energía. Esto ha llevado a buscar soluciones más ecológicas, utilizando energía renovable y limpia. La provincia de Chimborazo cuenta con un abundante potencial hídrico, el cual debe ser aprovechado mediante la ejecución de proyectos como pico-centrales hidroeléctricas con el apoyo de organizaciones privadas o del Estado. Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia El Altar, (2012), se encuentra ubicada a 29 km de la ciudad de Riobamba en la vía Penipe-Baños, en la parte céntrica del cantón Penipe, provincia de Chimborazo. Sus límites son, por el norte: parroquia Puela, y río Puela; por el sur: río Asacucho, río Cubillin y los cerros de Flautas con Morona Santiago; por el este: río Puela; y, por el oeste: río Chambo, comunidad El Guzo y río Asacucho, su temperatura promedio anual es de 14 °C., muestra precipitaciones de 500 a 1 000 mm anuales. En la parroquia El Altar se han identificado los principales ríos mencionados a continuación: Puela, Quinuaqui, y

Cubillin, Naranjal, Cubillin Chico, Asacucho, Palictahua, Badcahuan y Sigal. De acuerdo al censo realizado en el 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la población total de la parroquia es de 1 822 habitantes, distribuidos en 7 comunidades: Palictahua, Pachanillay, Ganshi, Asacucho, Ayanquil, Utucñag y Centro Parroquial. La parroquia El Altar cuenta con 426 familias.

Mediante un proyecto de vinculación los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con los GAD de la parroquia El Altar, se involucraron en el presente estudio. El proyecto corresponde al diseño de la central hidroeléctrica “El Altar”, que está encaminada a aportar una fuente de energía limpia, generando empleo y mejorando la calidad de vida de los habitantes de la zona, que están dedicados en su mayoría a actividades agrícolas y pecuarias y son los beneficiarios directos del proyecto.

El diseño e implementación del proyecto permitirá dar continuidad a los estudios de pre factibilidad y factibilidad realizadas con anterioridad, en donde se pretende generar aproximadamente 10 MW, aprovechando las condiciones hídricas y geográficas del sector.

1.2 Sistema de captación y conducción

1.2.1 Captación

Se denomina obra de toma o de captación a toda estructura hidráulica construida sobre el cauce de un río, con el fin de captar o de derivar el agua necesaria que para los proyectos de centrales hidroeléctricas será utilizada en generación de energía; impidiendo que el caudal de diseño sea excedido durante las crecientes y evitando que entren materiales sólidos como ramas o piedras que puedan causar obstrucciones posteriores.

1.2.2 Conducción

En este caso se utiliza tubería, ya que es imposible construir un canal debido a las características topográficas del terreno, hay que tener en cuenta algunas precauciones.

La más importante es asegurar que la avenida temporal del río no dañe o deteriore la tubería. También es vital calcular las pérdidas existentes para determinar el diámetro de la tubería. (INEA, 1997)

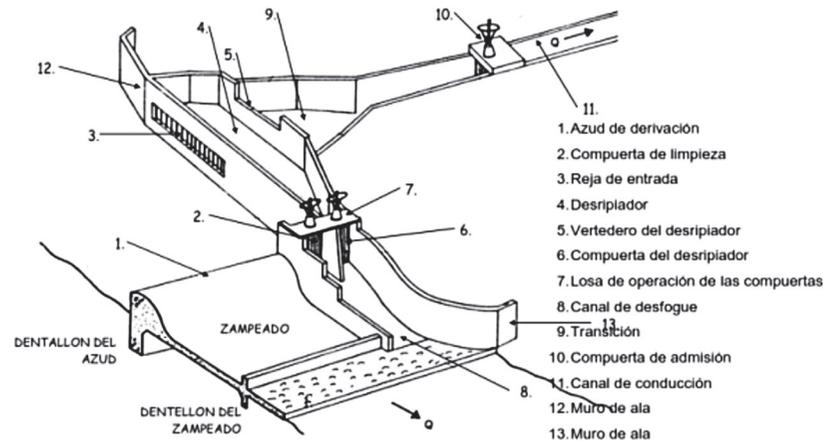


Figura 1. Elementos de la captación. Por Novillo, Galarza, & Romero (1985)

1.3 Cámara de carga

La cámara de carga es un depósito situado al final de la conducción, justo antes de la entrada de la tubería de fuerza. Está diseñada para actuar como una reserva de agua para mantener la presión de caída en la tubería forzada y requiere una entrada continua de agua del canal para mantener su nivel máximo.

1.3.1 Desarenador

Es una obra hidráulica, que sirve para sedimentar partículas, de material sólido suspendidas en el agua, de la conducción. Está ubicado a la entrada de la cámara de carga.

1.4 Tubería de presión

La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en algunas ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Esto obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto que le ayudan a sostenerse (apoyos) y a variar la pendiente (anclajes).

1.4.1 Apoyos y anclajes

Las tuberías que se encuentran a cielo abierto requieren de estructuras de concreto para sostenerse y apoyarse según la pendiente del terreno.

El perfil de la tubería y el trazado permiten determinar la ubicación de apoyos y estructuras que sostienen y permiten desplazamiento longitudinal por variación de la temperatura.

1.5 Casa de máquinas

Esta es una estructura civil que contiene la mayor parte del equipo electromagnético, en los que se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. Por ello es muy importante para el funcionamiento de la central, la ubicación de ella. (Ortiz, 2011)

1.5.1 Ubicación

En general la casa de máquinas se debe colocar cerca al afluente al cual se entregará el agua turbinada. Se debe prever que en el canal de desagüe no se depositen sedimentos que disminuyan su sección.

1.6 Turbina

Una turbina hidráulica viene a ser una turbo máquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos. (ITDG, 1995)

2 Materiales y métodos

2.1 Características de la zona

El proyecto está ubicado sobre el río Puela, en la parroquia El Altar. La parroquia El Altar pertenece al cantón Penipe, provincia de Chimborazo, se encuentra a una altitud aproximada de 2 400 m s.n.m. de clima frío con una temperatura media de 14 °C y una humedad atmosférica del 45 %.

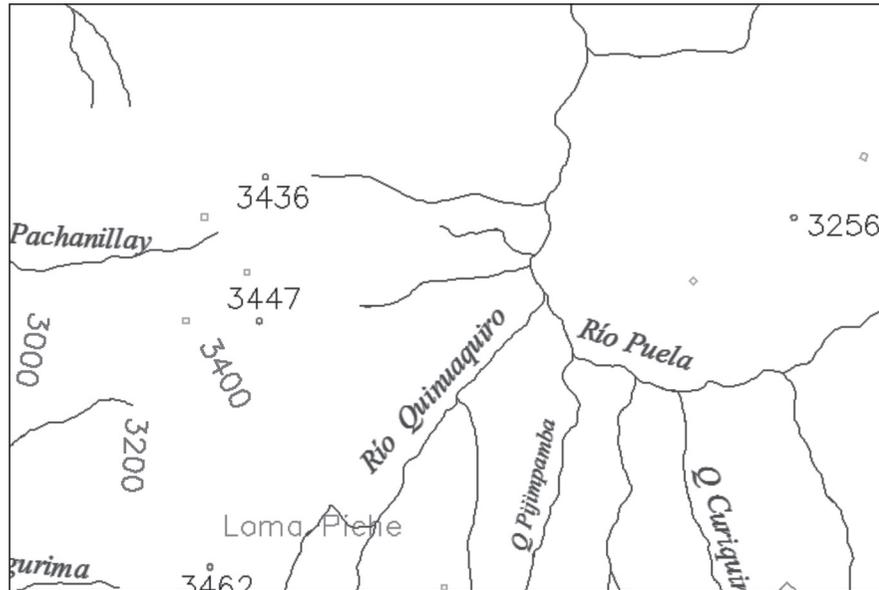


Figura 2. Ubicación de la zona de influencia.

Por Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar (2012)

2.2 Hidrología

2.2.1 Caudal del río

En base al registro histórico de los caudales mensuales del río Puela proporcionado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se realiza un cálculo estadístico para obtener un histograma que muestre la frecuencia con que ocurren los caudales y la permanencia que tienen durante un período considerable. Para el diseño de la central se consideró que el caudal de permanencia en un rango de 8 a 11 m³/s es del 98,8 %, por esta razón el caudal de diseño es de 8 m³/s.

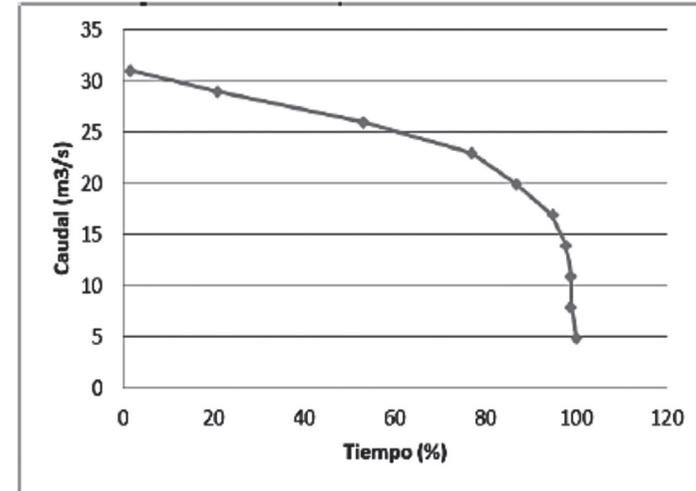


Figura 3. Curva de permanencia. Por Ordoñez, Viteri, Serrano, Aguiar y Orozco (2016)

3 Resultados

La captación se encuentra a 2 629 m s.n.m. de altura en el margen izquierdo del río Puela. Se deben diseñar diferentes estructuras que garantizarían captar el caudal requerido. El agua debe pasar por un desripiador antes de entrar a la tubería de conducción.

3.1 Tramos de conducción

Mediante el estudio topográfico se determinó las características del terreno, estableciendo tres tramos de conducción desde la captación hasta el tanque de carga. El Tramo 1 está comprendido desde la bocatoma hasta la entrada al sifón, posee una distancia de 5 000 m y una diferencia de altura de 14 m. Se utilizará tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con un diámetro nominal de 2 000 mm y un diámetro interior de 1 956,8 mm. El tramo 2 cruza la quebrada denominada Violinguyco, se debe recurrir a la solución más conveniente, que en este caso es el sifón. Se debe utilizar una tubería

de acero de diámetro nominal de 68 pulgadas y diámetro interno de 1 707,2 mm. Y el tramo 3 desde la salida del sifón hasta la cámara de carga, posee una distancia de 750 m y una diferencia de altura de 3 m. Se utilizarán tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio, con un diámetro igual al de la tubería usada en el tramo 1.

3. 2 Diámetro de la tubería de presión

Se realizan dos trazados de tubería de presión en paralelo, el caudal de diseño se divide, es decir que por cada ramal pasan 4 m³/s. Se utilizará tubería de acero de diámetro nominal igual a 44 pulgadas y un diámetro interno de 1 101,6 mm.

3.2 Altura o salto neto

Altura neta o salto neto es el resultado de restar las pérdidas de carga totales a lo largo del sistema de tubería de presión de la altura bruta.

$$HN = HB - HRT$$

$$HB = \text{Altura bruta} = 182 \text{ m}$$

$$HRT = \text{Pérdidas totales en la tubería de presión} = 7,888 \text{ m}$$

Se obtiene una altura neta de 174,112 m.

3.3 Equipo electro mecánico

3.3.1 Selección de la turbina

Se seleccionan dos turbinas Pelton de 5 MW con dos generadores síncronos. Los rangos de aplicación se muestran a continuación.

Tabla 1

Rango de aplicación. Por Intermediate Technology Development Group, ITDG (1995)

| Turbina de acción | Inventor y año de patente | Ns [rpm, Hp, m] RPM | Caudal [m³/s] | Altura neta H [m] | Potencia P [kW] | Rendimiento n [%] |
|-------------------|---------------------------|--|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Pelton | Lester Pelton (EEUU) 1880 | 1ch:20-30 2ch:30-50 3ch:30-50 4ch:50-70 | 0,05-50 | 30-1800 | 2-300 000 | 91 |

3.3.2 Ubicación en la casa de máquinas

Cada ramal de tubería de presión tiene que ser conectada a la turbina y esta a su vez conectada al generador. La potencia total a generar es de 9,638 MW.

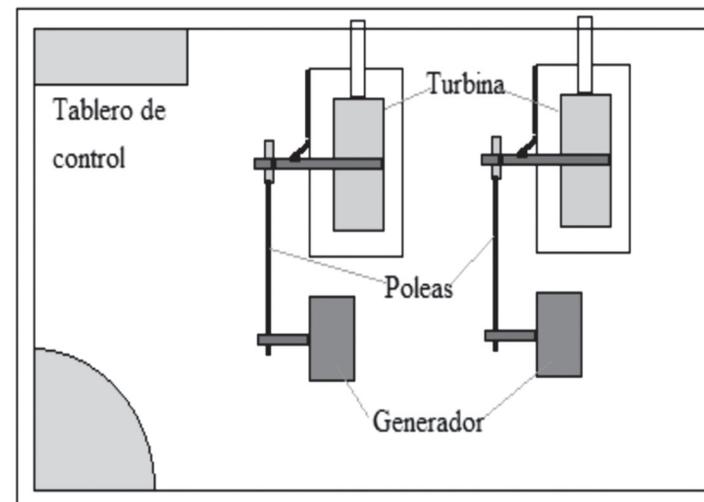


Figura 4. Esquema de la instalación.

Por Ordoñez, Viteri, Serrano, Aguiar y Orozco (2016)

3.3.3 Selección del generador

El generador eléctrico a utilizar será de tipo síncrono ya que la conversión de la energía mecánica en eléctrica se produce con una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo y es de 600 rpm con un número de polos igual a 12 a una frecuencia de 60 Hz.

3.4 Patio de transmisión

El patio de transmisión se encuentra ubicado a una altura de 2 430 m s.n.m. con un voltaje de 69 kV. Permite trasladar la energía eléctrica desde el patio de transformación hasta la subestación de Riobamba. Se presenta la ruta para el traslado de la energía eléctrica en línea recta, obteniendo una distancia de 25,25 km, donde se utilizarán 83 torres.



| Estructuras | Material de conducción | Distancias (m) |
|--|------------------------|----------------|
| Metal para 69 kV  | Aluminio | 100 a 1000 |
| Hormigón para 13,8 kV  | Aluminio | 50 a 100 |

Figura 5. Estructuras utilizadas.

Por Ordoñez, Viteri, Serrano, Aguiar y Orozco (2016)

Dadas las condiciones topográficas de la zona en la que se encuentra ubicado el proyecto, se opta por utilizar tubería en la conducción, logrando evitar de esta manera obstrucciones y manteniendo el agua sin basuras, facilitando la tarea de limpieza de los elementos civiles. Tomando en cuenta la ubicación del tanque de carga, se podría utilizar como punto de partida para la realización de un proyecto de riego, que beneficiaría a la comunidad, ya que el caudal consumido por la central varía con la carga. En las horas pico se utiliza todo el caudal que viene, pero el resto del tiempo el caudal utilizado es menor. Se propone beneficiar al sector utilizando para la construcción de la central, mano de obra propia de la zona, además se dotará de 0,2 MW del total generado para uso de la comunidad o para proyectos turísticos y de esta manera mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La curva de permanencia de caudales Fig.3, proporciona valiosa información gráfica, donde se observa el comportamiento del río Puela a lo largo del año, permitiendo establecer los caudales de estiaje y avenida.

Se seleccionan dos turbinas Pelton de cinco inyectores con 600 rpm en el eje, para un caudal de 4 m³/s que generaran 5 MW. El grupo turbina-generador tiene que ser vertical con transmisión por bandas y posee un rendimiento del 0,95 %.

En el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), se muestra un Plan de Manejo Ambiental (PMA) para reducir y mitigar los distintos impactos ambientales negativos y canalizar los impactos ambientales positivos que se puedan generar en las etapas de construcción, operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica El Altar. Mediante el análisis de presupuestos y costos del proyecto, se puede afirmar que la construcción es factible, puesto que la tasa de interés vigente en el país según el Banco Central del Ecuador es del 9 % frente a una Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenido en el proyecto del 32 %, alcanzando un costo final de inversión de 14 497 038,69 USD, los cuales serán recuperados en 3 años con 10 meses, vendiendo la energía a 0,04 USD/kWh.

Síntesis y aplicaciones prácticas

La población se encuentra motivada al saber que sus recursos hídricos podrán ser explotados de una mejor manera, especialmente para la generación hidroeléctrica, siendo un factor de gran importancia dentro de la economía local.

El sector agrícola se ve influenciado por la presencia del fluido turbinado para sistemas de riego, incrementando así la producción en la localidad.

Con la ejecución del proyecto la población alcanzará mejores condiciones ya que los habitantes podrán emplearse en la etapa de construcción de este proyecto.

Referencias

- Ministerio de minas y energía, Instituto de ciencias nucleares y energías alternativas INEA. (1997). Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Santa Fé de Bogotá, INEA, 120p.
- Intermediate Technology Development Group - ITDG, I. T. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas*. Lima.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, PDOT. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Penipe.
- Novillo, M., Galarza, L., & Romero, G. (1985). Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.
- Ortiz, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogota: Ediciones de la U.