



Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica en la Provincia de Manabí

Desing of a Mini Hydroelectric Plant in the Manabí Province

Autores

Paola Sandoval Pedauga ^{1*}

<https://orcid.org/0000-0002-4553-014X>

José Estuardo Jara Alvear ²

<https://orcid.org/0000-0002-3361-9294>

¹ Facultad Ciencias Ingeniería, Industria y Producción. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador.

² Grupo de Investigación Ciencias de la Energía. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.

* Autor para correspondencia.

paola_sandoval77@hotmail.com

Citacion sugerida: Sandoval, P. & Jara A., J. (2024). Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica en la Provincia de Manabí. *Revista de investigaciones en energía, medio ambiente y tecnología. RIEMAT*, 9(1), pp. 1-14. <https://doi.org/10.33936/riemat.v9i1.6580>

Recibido: 05/12/2023

Aceptado: 22/12/2023

Publicado: 04/01/2024

Resumen

La emisión de dióxido de carbono al medio ambiente provocada por la generación de energía con fuente de combustibles fósiles, ha generado gran preocupación a nivel mundial. En Ecuador la generación es mayormente con energía renovable, mediante el uso de las Centrales Hidroeléctricas, ubicadas principalmente en las vertientes del Amazonas. Sin embargo, en los períodos de estiaje (sequía) se hace necesario complementar la generación con las Centrales Termoeléctricas que usan combustibles fósiles. Esta situación sucede más frecuente en las provincias de la costa, cuya demanda está más alejada de las centrales hidroeléctricas existentes. Por lo antes expuesto, y tomando como línea base el Proyecto Propósito Múltiple Chone, se propone el Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica en la provincia de Manabí, como generación distribuida renovable, buscando una alternativa más limpia y económica. En la misma, se utilizará el enfoque del concepto NEXOS, que busca la interrelación entre agua, alimento y energía. Adicionalmente se busca mejorar la calidad de vida del sector El Pueblito de Río Grande (área de estudio), el cual tiene frecuentes interrupciones en el suministro del servicio de energía eléctrica. Las variables analizadas fueron la selección y dimensionamiento de los diferentes elementos, obras de ingeniería civiles, equipos eléctricos y la generación de energía hidroeléctrica, cuyos resultados demostraron que con una altura promedio neta de 24,76 m y caudal diseño de 16 m³/s, utilizando la toma de obra del túnel de desagüe y dos turbinas tipo Francis de 3MW cada una, es viable diseñar una minicentral hidroeléctrica con una potencia máxima 4,54 MW y capacidad de generación de energía promedio de 28,34 GWh anuales, energía suficiente para abastecer la demanda del sector el Pueblito de Río Grande.

Palabras clave: Energía renovable; Central hidroeléctrica; NEXOS.

Abstract

The emission of carbon dioxide into the environment caused by energy generation using fossil fuels has generated worldwide great concern. In Ecuador, energy generation is mostly renewable, through the use of Hydroelectric Power Plants, located mainly in the Amazon areas. However, in dry periods (drought) it is necessary to complement this generation with Thermoelectric Plants that use fossil fuels. This situation happens more frequently in the coastal provinces, whose demand is further away from the existing hydroelectric plants. Due to the above, and taking the Chone Multiple Purpose Project as a baseline, the Design of a Mini Hydroelectric Plant in the Manabí province is proposed, as renewable distributed generation, seeking a cleaner and more economical alternative. In it, the NEXUS concept approach will be used, which seeks the interrelation between water, food and energy. Additionally, it seeks to improve the quality of life in the Río Grande Pueblito (study area), which has frequent interruptions in the supply of electrical energy service. The variables analyzed were the selection and sizing of the different elements, civil engineer work, electrical equipment and the generation of hydroelectric energy, the results of which showed that with an average net head of 24.76 m and design flow of 16 m³/s, using the intake of the drainage tunnel and two Francis turbines of 3 MW each, a mini hydroelectric power plant can be designed with a maximum power 4.54 MW and an average energy generation capacity of 28.34 GWh per year, enough energy to supply the demand of the Río Grande Pueblito.

Keywords: Renewable energy; Hydroelectric power plant; NEXUS





1. Introducción

De acuerdo con Jiménez et al. (2020), a nivel mundial existe un compromiso de los países para luchar contra la mitigación y adaptación al cambio climático. El cual es causado principalmente por el sector de energía que se basa en el uso de combustibles fósiles.

El Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR, 2021), menciona que a pesar de que más del 85% de la demanda energética en Ecuador es abastecida por energía renovable, proveniente de centrales hidroeléctricas ubicadas principalmente en áreas amazónicas, se observa una estacionalidad pronunciada en su generación, durante el período de octubre a marzo. Esta estacionalidad plantea el riesgo del abastecimiento de la demanda con energías renovables. Ortiz et al. (2018), evidencian la necesidad de aprovechar las centrales hidroeléctricas en la vertiente del Pacífico, que alcanzan su máxima producción entre enero a abril, y al complementarse con las de la vertiente del Amazona, alcanzarían la máxima producción la mayor parte del año.

Como expresan Osorio (2017), y Bernal et al. (2023), el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a gran escala se ve afectado por sus impactos ambientales y sociales. En este contexto, las pequeñas centrales hidroeléctricas han surgido como una alternativa con gran aceptación, debido a su bajo impacto ambiental y social, además de fomentar la generación distribuida con energías renovables. Adicionalmente, Embid et al. (2017), declaran que el aprovechamiento de las infraestructuras hidráulicas existentes en proyectos de Propósitos Múltiples, para múltiples usos como el control de inundaciones, sistemas de riego y suministro de agua potable. Maximizando la productividad del agua y minimizando los costos de construcción e impacto ambiental de centrales hidroeléctricas. En la conferencia de Bonn (2011), se planteó este enfoque de centrales hidroeléctricas multipropósito, que promueven la filosofía del NEXO o relación entre el Agua-Energía-Alimento, buscando el desarrollo de proyectos hidroeléctricos sostenibles.

El objetivo de este estudio se centró en el diseño de una minicentral hidroeléctrica tomando como base el Proyecto Propósito Múltiple Chone. Planteando como objetivos específicos: Considerar los potenciales hidroeléctricos del proyecto existentes Múltiple Propósito de Chone; Dimensionar los diferentes elementos, obras civiles y equipos eléctricos necesarios para el diseño de la minicentral; Cálculo de la potencia, energía anual y demanda eléctrica.

Las diferentes etapas de la metodología que se utilizó, para el diseño de la minicentral hidroeléctrica fueron: Análisis del recurso hidrológico; Ubicación óptima de los componentes de la minicentral; Análisis de alturas; Selección del caudal de diseño; Selección del tipo de turbina; Cálculo del potencial hidroenergético; y Propuesta del diseño.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

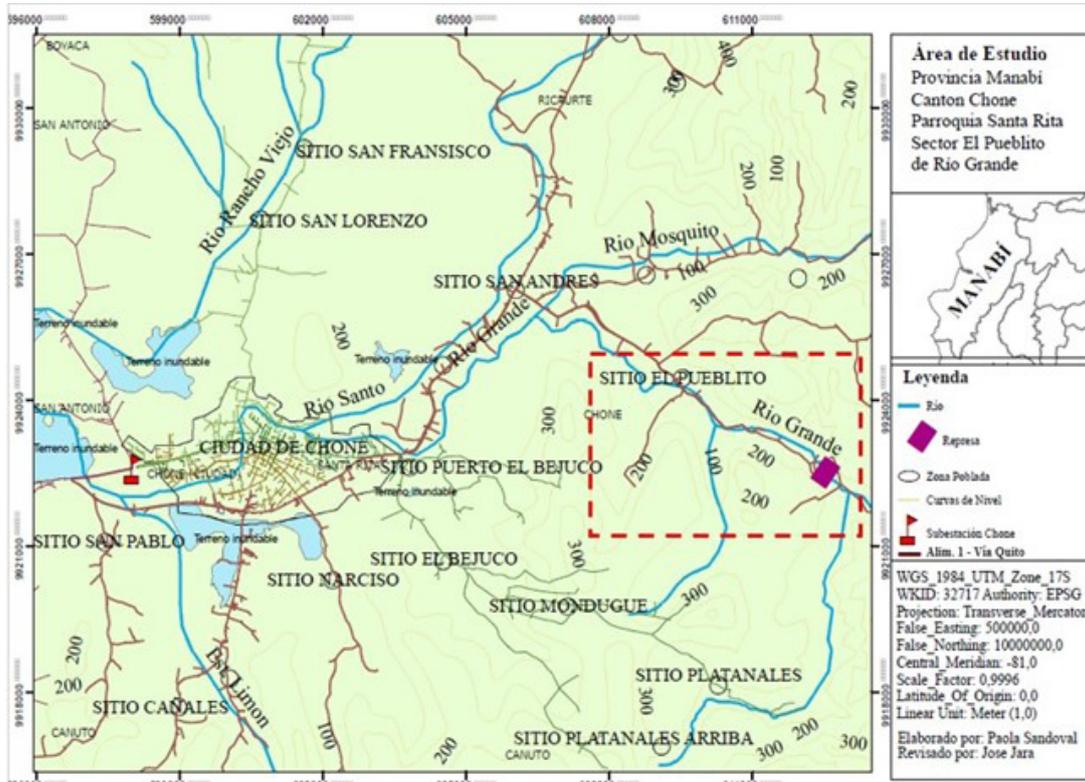
El estudio se enfoca en el área donde se ubica el Proyecto Propósito Múltiple Chone y un sector cercano llamado el Pueblito de Río Grande, ubicado en la Parroquia Santa Rita, Cantón Chone, Provincia Manabí (figura 1). Este sector está formado por más de 1.700 familias (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010). Las poblaciones del Pueblito de Río Grande reciben el suministro eléctrico de la Corporación Nacional Eléctrica (CNEL) Manabí, desde la subestación eléctrica Chone, con el Alimentador 1 - Vía Quito.

El sector el Pueblito de Río Grande se ve afectado por las frecuentes interrupciones del suministro del servicio de energía eléctrica. En el gráfico de la figura 2, se puede ver los reclamos que realizaron los consumidores de este sector mensualmente durante el año 2022. Observándose que el número de reclamos del sector el Pueblito de Río Grande representó el 4% de los reclamos del cantón y Chone contribuyó con el

6% de los reclamos totales de la provincia de Manabí, cifras suministradas por CNEL Manabí (2022).

Figura 1

Localización del Sector el Pueblito de Río Grande y Proyecto Propósito Múltiple Chone.



Fuente: CNEL EP UN Manabí (2022)

Figura 2

Reclamos por Falta de Suministro de Energía Eléctrica en el Sector el Pueblito de Río Grande.



Fuente: CNEL Manabí (2022)

En 2015, el Gobierno Nacional inauguró la construcción del Proyecto Propósito Múltiple Chone, el cual estuvo conformado por 2 componentes principalmente, según expresa la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2011), como se muestra en la figura 3:

- La Presa de Río Grande tiene la finalidad de almacenar el agua del Río Grande para abastecer de agua potable y riego al cantón Chone, Además de disminuir los riesgos de las inundaciones.



• El Canal de encauzamiento y desagüe de San Antonio busca reducir los caudales del Río Grande desviándolo junto con el Río Mosquito por este canal, separando el Río Chone del Río Garrapata y permitiendo su descarga por esta vía.

Figura 3

Componentes del Proyecto Propósito Múltiple Chone.



Fuente: David Reyes, Acción Ecológica (Organización Verdad para la Vida, 2021).

2.2. Enfoque Metodológico para el Diseño de la Minicentral Hidroeléctrica

Figura 4

Sistematización de la Metodología.



Fuente: Los autores.

En la figura 4, se muestra una sistematización de la metodología que se utilizó, para este trabajo. A continuación, las diferentes etapas que compone esta metodología.

2.2.1. Análisis del Recurso Hidrológico

Se analizaron los datos históricos de los niveles de agua en metros sobre el nivel del mar (msnm) y los volúmenes de agua almacenada en el embalse en millones de metros cúbicos (Hm³) del Proyecto Propósito Múltiple Chone - Río Grande, para evaluar el recurso hídrico, durante el período comprendido entre 2018 y 2022, fueron proporcionados por EPA (2022).

2.2.2. Ubicación Óptima de los Componentes Minicentral

Para la selección de la obra de tomas se analizó el Estudio del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Propósito Múltiple Chone suministrado por la empresa de Calidad Ambiental (2010). Se realizó una visita de campo el 03 de marzo del 2023 para recopilar información y entrevistar al personal técnicos. Se identificaron tres posibles obras de toma: Aliviadero, Túnel de desagüe y Túnel de riego y de agua potable (anexo 1). A continuación, se describen las opciones de obras de toma:

- 1) En el lado izquierdo de la represa, se encuentra la obra de tomas del aliviadero y el túnel de desagüe:
 - a) El Aliviadero: está formado por el canal de alimentación, vertedero, pasando por el cuenco disipador o amortiguador de energía, seguido de un canal de restitución de los caudales al cauce del río. Tiene una longitud total 195 m y un caudal de diseño de 231 m³/s.
 - b) El Túnel de desagüe: tiene una longitud de 263 m con un diámetro de 3 m y se intercepta con el cuenco disipador, desembocando en el canal de restitución del aliviadero. Su caudal máximo es de 45m³/s, pero normalmente lo regulan a un caudal de diseño de 16 m³/s, mediante la apertura y cierre de las compuertas para el control de las inundaciones, solo utilizan un caudal mayor cuando requieren bajar el nivel de agua del embalse (como para hacer trabajos de mantenimiento o alguna reparación de emergencia).
- 2) En el lado derecho de la represa, se encuentra la obra de tomas flotante para el sistema de riego y abastecimiento de agua potable, el cual está compuesto por un brazo hidráulico (que sube y baja dependiendo del nivel del agua del embalse), dentro del cerro continua una tubería común para los dos sistemas con una longitud de 352 m y diámetro 1,4 m, un caudal de diseño de 40 m³/s (EPA, 2015), misma que llega hasta la cámara de ruptura.

Para la selección de la casa de máquinas se analizó la información técnica recaudada de la visita de campo y de los planos del proyecto suministrado por el Ministerio del Agua, Ambiente y Transición Ecológica (MAATE, 2008). Se identificaron dos opciones (anexo 2):

- 1) Opción A: ubicarla en lado derecho del Aliviadero después del acceso al túnel de compuertas de válvulas y del poste de la línea de distribución eléctrica existente en 13,8 kV. A un nivel de terreno aproximado de 33,44 msnm.
- 2) Opción B: ubicará en lado izquierdo entre el cuenco disipador y el aliviadero. A un nivel de terreno aproximado de 31,22 msnm.

2.2.3. Análisis de altura

Para el cálculo de la altura se consideró la diferencia entre el nivel promedio del agua del embalse de Río Grande y el nivel de terreno de la ubicación propuesta para la casa de máquinas analizada anteriormente. Para el cálculo del nivel promedio del agua, se realizó un análisis de la media aritmética con la herramienta de Microsoft Excel, utilizando todos los datos del nivel de agua del embalse de Río Grande desde los años 2018 al 2022.

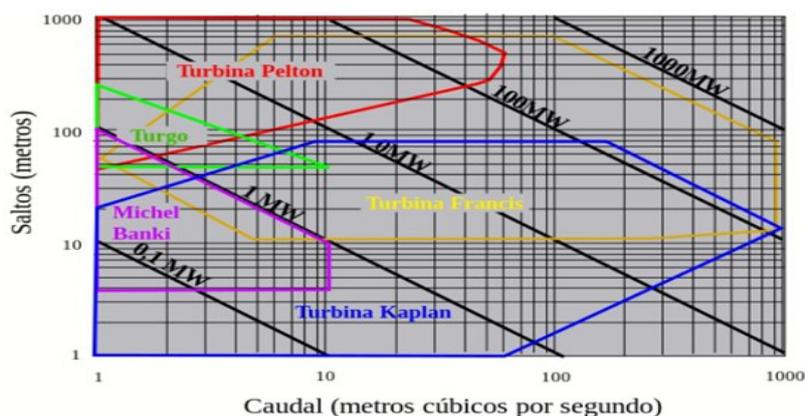
2.2.4. Selección del Caudal de Diseño

La selección del caudal de diseño a utilizar dependió de la obra de toma que se elija según la sección 2.2.2, el cual se utilizó para el cálculo de la potencia eléctrica.



Figura 5

Rango de Aplicación según el Tipo de Turbina.



Fuente: Guarín et al. (2023).

2.2.6. Cálculo del potencial hidroenergético

Para el cálculo de la potencia eléctrica generada se empleó la Ecuación (1):

$$P = \frac{\text{Densidad} * \text{Gravedad} * \text{Caudal} * \text{Altura neta} * \text{Eficiencia de la turbina}}{10^6} \quad (1)$$

La energía anual se calculó con la Ecuación (2):

$$\text{Energía anual} = \text{Potencia promedio} * 24 \text{ horas diarias} * 365 \text{ días del año} \quad (2)$$

Para determinar la corriente que debe soportar el conductor del alimentador que se conectará a la subestación eléctrica más cercana. Se calculó con la Ecuación (3):

$$I = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Factor de potencia} * \text{Nivel de tensión} * \sqrt{3}} \quad (3)$$

2.2.7. Propuesta de diseño

La propuesta de diseño para la minicentral hidroeléctrica incluyó la ubicación de la casa de máquinas, indicando la obra de toma de agua seleccionada y la ruta de la tubería hacia la casa de máquinas pasando por el tipo de turbinas que se escogió para producir la electricidad. Seguidamente el agua retornará al cauce del Río Grande. También se mostró la línea eléctrica desde donde se inyectará la energía al sistema nacional interconectado de CNEL.

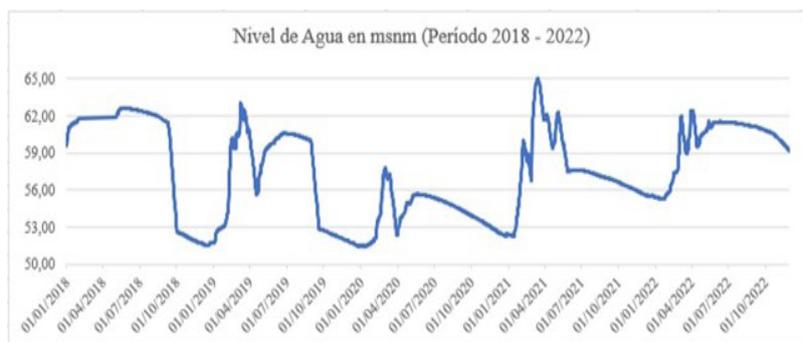
3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis del Recurso Hidrológico

El análisis de las cotas de los niveles y volúmenes de agua almacenada del embalse de Río Grande desde el 2018 hasta el 2022, se muestran en los siguientes gráficos (figuras 6 y 7). El nivel promedio del agua fue de 57,28 msnm con un volumen promedio de 61,15 Hm³. Durante el período lluvioso alcanzaron sus cotas máximas con el nivel de agua de 65,07 msnm y un volumen de 96,74 Hm³, mientras que en el periodo de sequía descendieron a nivel de agua de 51,41 msnm y volumen de 39,72 H m³.

Figura 6

Nivel de agua del embalse de Río Grande. Cotas en msnm. Periodo 2018-2022.



Fuente: EPA (2022)

Figura 7

Volumen de agua almacenada en el embalse de Río Grande. Volumen en Hm³. Periodo 2018 - 2022.



Fuente: EPA (2022)

3.2. Ubicación Óptima de los Componentes Minicentral

Se seleccionó la obra de toma del túnel de desagüe (anexo 1), debido a que es la única que utilizan constantemente durante todo el año para el control de inundaciones. En el período de lluvia cuando el nivel del agua esta alto la emplean para drenar el embalse y evitar que se desborde, y en el período de sequía para mantener el nivel adecuado del río para el riego de la agricultura.

Las otras obras de tomas no se seleccionaron por las siguientes razones:

- Aliviadero: Se usa solamente en caso de emergencia, cuando el nivel del agua del embalse rebasa su capacidad máxima y el agua se desborda por el aliviadero.
- Sistema de Riego y Abastecimiento de Agua Potable: Aún no está funcionando. Debido a que no está construido el sistema de distribución de riego, ni la planta de tratamiento de agua.

En cuanto a la ubicación de Casa de Máquinas: se optó por la opción B (anexo 2), ubicándola al lado



izquierdo de la represa entre el cuenco disipador y el aliviadero; a un nivel de terreno aproximado de 31,22 msnm. Por ser el área con mayor disponibilidad de terreno y no interferencias con el paso de vehículos. Se descartó la opción A, debido a que presentaba una superficie de terreno reducida y riesgo de interferencia por el acceso vehicular hacia el túnel de compuertas.

3.3. Análisis de Altura

Con el nivel de agua del embalse promedio de 57,28 msnm y la casa de máquina a un nivel de perfil de terreno aproximado de 31,22 msnm (opción B), se obtuvo una diferencia de altura bruta de 26,06 m. Asumiendo unas pérdidas hidráulicas de 5%, que equivale a 1,30m. La altura neta es 24,76 m.

Para este análisis se asumió de pérdidas hidráulicas el 5% (valor que para tuberías de acero pintado o PVC rondan por ese porcentaje), sin embargo, como la minicentral se construirá en la infraestructura existente del proyecto Propósito Múltiple Chone, la cual está funcionando desde el año 2015 y considerando la falta de mantenimiento, se pudiera considerar para estudios futuros pérdidas hidráulicas mayores. Bernal et al. (2023) en su estudio del diseño de una pequeña central hidroeléctrica para la energización de un galpón en Colombia, realizaron los cálculos de las pérdidas por accesorios y las pérdidas por fricción de tubería de polietileno y sumándolas obtuvieron un total de 1,645 m y con una diferencia de altura bruta de 10 m, representaría el 16,45% de pérdidas.

3.4. Selección del Caudal de Diseño

La obra de toma selecciona del túnel de desagüe tiene un diámetro de 3 pulgadas y regulan normalmente el caudal a 16 m³/s, mediante compuertas para controlar las inundaciones. Por lo que se eligió este caudal como diseño, ya que es probable que esté presente durante la mayor parte del año.

3.5. Selección del Tipo de Turbina

Considerando una altura neta de 24,76 m y un caudal de diseño de 16 m³/s, basada en la Figura 5 de la sección 2.2.5, se puede seleccionar para este estudio la turbina Francis en amarillo o Kaplan azul.

La turbina Kaplan tiene una alta eficiencia entre 93% - 95% según lo indican Caizaguano et al. (2016), pero es compleja en el sistema de regulación. La selección se inclina hacia la turbina Francis, a pesar de tener una eficiencia menor entre 90% - 94%, debido a que tiene una mayor accesibilidad en el rodete, una regulación sencilla y menor costo tal como lo expresa Fernández (1996), haciendo que sean más común como lo hacen notar Góngora et al. (2019), por lo que se adaptaría mejor a este proyecto.

3.6. Cálculo del Potencial Hidroenergético

3.6.1. Potencia Eléctrica

Las potencias eléctricas que generaría la minicentral hidroeléctrica se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Cálculo de Potencia Eléctrica Promedio de la Minicentral Hidroeléctrica.

| Toma de Obra seleccionada | Nivel de Agua en el Embalse (msnm) | Altura Casa de Máquina (msnm) | Altura Bruta (m) | Altura Neta (m) | Caudal de diseño (m ³ /s) | Potencia (MW) |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------|
| Túnel de Desagüe | Min | 51,41 | 20,19 | 19,18 | 16 | 2,71 |
| | Prom | 57,28 | 31,22 | 26,06 | | 3,50 |
| | Max | 65,07 | | 33,85 | | 32,16 |

Fuente: Los autores.

Se calcularon con la Ecuación (1):

$$P = \frac{\text{Densidad} * \text{Gravedad} * \text{Caudal} * \text{Altura neta} * \text{Eficiencia de la turbina}}{10^6} \quad (1)$$

Utilizando los niveles de agua del embalse en los distintos períodos del año, altura de la casa de máquina propuesto y caudal de diseño indicados en los puntos anteriores.

Tomando como constantes: Densidad del Agua = 1000 kg/m³ y Gravedad = 9,8 m/seg².

Asumiendo: Eficiencia Turbina Francis = 90 % y Perdidas Hidráulicas = 5 %

$$P = \frac{100 * 9,8 * 16 * 24,76 * 0,9}{10^6} = 3,50 \text{ MW}$$

Sustituyendo los valores promedios se obtuvo que la potencia eléctrica promedio para esta central sería de 3,50 MW, y que en los períodos de lluvia la potencia máxima llegaría a 4,54 MW, mientras que en los períodos secos se obtendría una potencia mínima de 2,71 MW.

La potencia consumida durante el mes de febrero del 2023 en el sector el Pueblito de Río Grande fue de 0,387 MW, lo que representa el 11,06% de la potencia promedio que puede producir la central. Adicionalmente, se podría abastecer a los sectores aledaños a la zona, los cuales son alimentados por el mismo circuito. El alimentador registró durante ese mes, una potencia promedio de 3,63 MW en las horas de consumo medio (7:00H a 18:00H) y una potencia máxima de 4,31 MW en las horas de consumo máximo (19:00H hasta 22:00H), cifras suministradas por CNEL Manabí (2023)

3.6.2. Energía Anual

Con los datos históricos del nivel de agua del embalse que se obtuvieron de EPA, la altura de ubicación de la casa de máquina y las pérdidas hidráulicas asumida en 5%, se calculó la altura neta para cada día y con la Ecuación (1) se calculó la Potencia Diaria en MW.

$$P = \frac{\text{Densidad} * \text{Gravedad} * \text{Caudal} * \text{Altura neta} * \text{Eficiencia de la turbina}}{10^6} \quad (1)$$

Con la Potencia Diaria x 24 horas se calculó la Energía Diaria en MWh en cada uno de los años comprendido del período 2018 – 2022, tal como se muestra en el gráfico de la figura 8.

Figura 8

Energía diaria calculada en base al nivel de agua del embalse de Río Grande. Período 2018 - 2022.



Fuente: EPA (2022)



Sumando la energía diaria de cada año se obtuvo la energía anual en GWh para cada uno de los años para el periodo 2018 - 2022. Obteniéndose una energía promedio de 28,34 GWh durante este periodo.

Según expresa la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNR, 2020), el consumo promedio mensual por cliente residencial en Manabí es de 164 kWh/mes lo que equivale a 1.968 kWh/anales (0,00197 GWh/anales). Considerando que la minicentral hidroeléctrica produciría una energía promedio de 28,34 GWh, se podría abastecer aproximadamente a 14.400 familias de Manabí.

3.7. Propuesta del Diseño

Se propone ubicar la casa de máquinas (Opción B), en el lado izquierdo del túnel de desagüe (obra de toma seleccionada), entre el cuenco disipador y el aliviadero, a 33,22 msnm (anexo 3). Se tomará el agua antes del cuenco amortiguador y dirigirá hacia la casa de máquinas a través de una tubería de 3 m de diámetro (diámetro igual a la tubería existente), desde allí se dividirá en dos tuberías de 2,5 m de diámetro hacia cada una de las turbinas tipo Francis para producir la electricidad. Seguidamente retornaría al Río Grande uniéndose nuevamente en una sola tubería de 3m de diámetro, la cual se conectaría en el canal de restitución.

Con respecto al número de turbinas. se seleccionaron 2 turbinas Francis de 3 MW. En los meses secos con bajo nivel de agua del embalse se trabajaría con una (01) solamente suficiente para suplir la potencia mínima y en los meses lluviosos como mayor nivel de agua se trabajaría con las dos (02) turbinas. Otro de los beneficios de seleccionar dos (02) turbinas es para lograr mantener la generación óptima todo el tiempo, debido a que, si una falla o se le requiere hacer mantenimiento, se tiene las otras operando de respaldo, obteniéndose una mayor confiabilidad en el sistema.

Se deberá construir una línea eléctrica área en 13,8 kV para conectar el sistema de generadores a la red pública del sistema nacional interconectado (SNI) de CNEL en la Subestación Chone. Se considera un conductor de calibre #3/0 AWG de aluminio desnudo tipo ASC (igual al conductor existente), el cual tiene una capacidad de 245 A. Utilizando una potencia máxima aproximada de 5MW, factor de potencia del 93 % y nivel de tensión de 13,8 kV de la subestación, se obtiene con la Ecuación (3):

$$I = \frac{5000 \text{ kW}}{0,93 * 13,8 \text{ kV} * \sqrt{3}} = 225,20 \text{ A} \quad (3)$$

La corriente resultante de 225,20 A es menor a 245 A, la elección del conductor 3/0 AWG es adecuada.

Para estudios futuros se recomienda lo siguiente:

- Realizar un levantamiento topográfico del área del terreno, para obtener la altura exacta donde se ubicará la casa de máquinas, logrando tener mayor precisión al calcular de la potencia eléctrica.
- Elaborar un estudio hidrológico actualizado y la instalación de una estación hidrológica.
- Complementar esta propuesta con el cálculo económico y financieros, estudios de ingeniería civil y de impactos ambientales, para poder analizar su viabilidad e implementación en el sitio.
- Los entes encargados del Proyecto Propósito Múltiple Chone, retomen la construcción del sistema de riego y la planta de agua potable, incorporando la minicentral hidroeléctrica.
- Efectuar estudios de pérdidas hidráulica, debido a que la infraestructura del proyecto base ya tiene varios años de uso y las pérdidas pudieran ser mayores a las asumidas en este estudio.
- Ejecutar un análisis ambiental de la reducción de gases de efecto invernadero al generar con energía renovable (minicentral hidroeléctrica) en sustitución de la termoelectrica.

4. Conclusiones

Este estudio demostró que es viable aprovechar la infraestructura existente del Proyecto Propósito Múltiple Chone para la implementación de una minicentral hidroeléctrica con una potencia máxima de 4,54 MW y una energía promedio anual de 28,34 GWh, que aprovecharía el caudal de agua para los sistemas de riego y abastecimiento de agua potable. Adicionalmente entregaría la energía al sector el Pueblito, el cual tiene graves problemas del servicio eléctrico y los sectores aledaños del río Grande. El desarrollo de este proyecto hidroeléctrico en la vertiente del Pacífico sería complementarios a la vertiente del Amazonas, lo que contribuiría a resolver problemas de estacionalidad en época sequía. Además, sería una oportunidad para fomentar el enfoque NEXOS y el desarrollo sostenible en la provincia de Manabí.

Para el diseño de la minicentral hidroeléctrica se seleccionó la obra de tomas del túnel de desagüe y se ubicó la casa de máquina del lado izquierdo de la misma, utilizándose 2 turbinas Francis 3 MW, se utilizaron tuberías de 3" de diámetro para la toma de agua y retorno al río y tuberías de 2,5 m de diámetro hacia cada una de las turbinas.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2020). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2020. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp.content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- Anchundia Solorzano, J. (2022). Caracterización de las Microcuencas aportantes al Embalse Propósito Múltiple Chone para un Modelo de Gestión. *Polo del Conocimiento*, 7(1), pp. 808–825. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i1>
- Bernal Millán, D. & Urriago Calderón, U. (2023). Diseño y simulación de una pequeña central hidroeléctrica, aprovechando el cauce de una quebrada para la energización de un galpón ubicado en Pore, Casanare. Repositorio UAN. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8274>
- Bonn Conference. (16-18 de noviembre de 2011). The Water, Energy and Food Security Nexus - Solutions for a Green Economy. Nexus Regional Dialogues. <https://www.water-energy-food.org/events/conference-the-water-energy-and-food-security-nexus-bonn2011-nexus-conference>
- Caizaguano, H. & Sangucho, C. (2016). Diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para análisis de eficiencia de las turbinas hidráulicas Pelton y Kaplan. Repositorio UTC. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3074/1/T-UTC-4095.pdf>
- Calidad Ambiental CIA. (2010). Descripción del Proyecto de Propósito Múltiple Chone. Organismo de Gestión de Recursos Hídricos por Demarcación Hidrográfica de Manabí, ch. 2, pp. 16-85.
- Consorcio EQUITESA & EQUITRANSA. (2016). Plano General de las Obras, Caminos y Préstamo. Proyecto Propósito Múltiple Chone Fase 1 - Presa Río Grande y Desagüe San Antonio. Empresa Pública del Agua.
- Corporación Nacional de Electricidad Manabí. (2022). Informe de Reclamos de los Cortes de Suministros de Energía Eléctrica en la Provincia de Manabí durante el año 2022.
- Corporación Nacional de Electricidad Manabí. (2023).
- Embid, A. & Martín, L. (2017). El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe: planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias. Serie CEPAL. Recursos Naturales e Infraestructura, (179). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/41069>
- Empresa Pública del Agua. (2022). Cotas Nivel de Agua del Embalse de Río Grande Periodos 2018 al 2022. Proyecto Propósito Múltiple Chone.
- Empresa Pública del Agua. (2015). Propósito Múltiple Chone - Explicación 3D. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=FECyCDgBEhw>
- Empresa Pública del Agua. (2019). Proyecto Propósito Múltiple Chone. <http://www.empresaagua.gob.ec/>



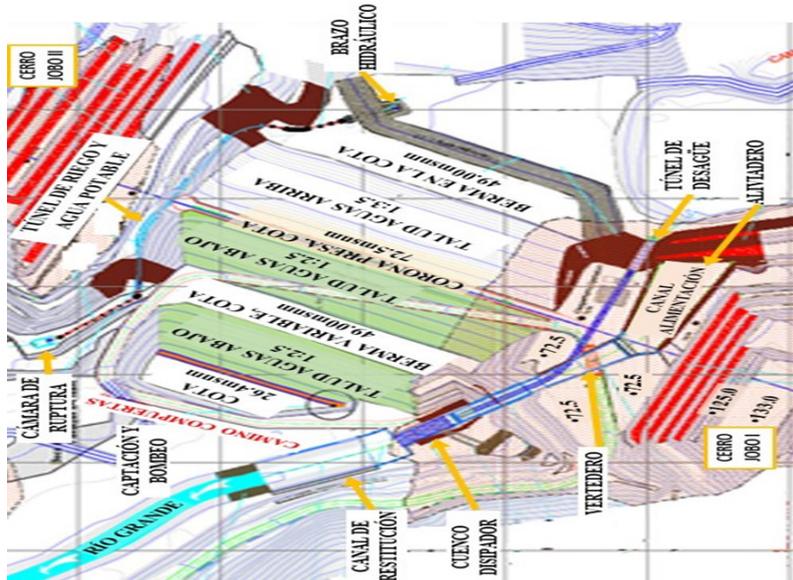
wp-content/uploads/downloads/2020/02/Perfil-de-Proyecto-Chone-con-Dictamen-STPE.pdf

- Cabrera Estupiñán, E., Pérez Leira, R. & Moreira Santos, J. (2017). Régimen de precipitaciones y evaporación para riego en el multipropósito Chone, Ecuador. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* 2(2), pp. 6-15. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/1138>
- Fernández Díez, P. (1996). Turbinas hidráulicas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. <https://www.academia.edu/download/34923076/turbinas-hidraulicas.pdf>
- Góngora Cruz, L. & Rojas Macedo, O. (2019). Diseño e implementación de un módulo de turbina Francis para el laboratorio de termofluidos de la escuela profesional de ingeniería mecánica, mecánica-eléctrica y mecatrónica. Repositorio UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8602>
- Guarín Restrepo, J. & Flórez Galvis, J. (2013). Diseño de un Sistema de Generación a Partir de una Pico central Hidroeléctrica. Repositorio UTP. <https://repositorio.utp.edu.co/handle/11059/4095>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2010). Censo 2010. Gobierno Nacional del Ecuador. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- Jiménez De Echeverría, F. & Fuertes Pérez, F. (2020). Sobre los Tres Poderes Sociales y la Necesidad de una Transición Energética. Repositorio Comillas. <http://hdl.handle.net/11531/43092>
- Ministerio del Agua, Ambiente y Transición Ecológica. (2008). Planos General de la Presa de Río Grande y Obra de Desvío. Actualización del Proyecto Propósito Múltiple Chone. Consejo Provincial de Manabí.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021). Plan Maestro Electricidad. Corporación Eléctrica del Ecuador. <https://www.celec.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- Organización Verdad para la Vida. (2021). Río Grande: Proyecto Multipropósito Chone «Fase 1» Represa Río Grande. Acción Ecológica. <https://verdadparalavida.org/caso/rio-grande-proyecto-proposito-multiple-chone-fase-1-represa-rio-grande/>
- Ortiz Mármol, J & Jara Alvear, J. (2018). Aprovechamiento de energías renovables no convencionales durante el estiaje de la hidroelectricidad complementariedad energética eólica. XXXIII Seminario nacional del sector eléctrico ecuatoriano Ambato. Comité Ecuatoriano de Comisión de Integración Energética Regional.
- Osorio Londoño, I. (2017). Impactos ambientales, sociales y económicos de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Antioquia. Repository EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/11732>
- Secretaría Nacional del Agua. (2011). Video Oficial Propósito Múltiple Chone. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gmAY1VcEqfk>

Anexos

Anexo 1

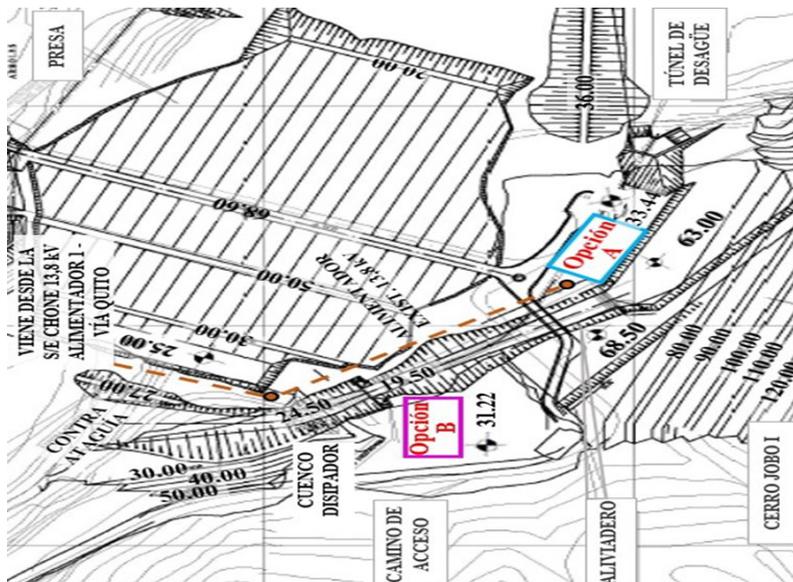
Componentes que conforman cada una de las Obras de Tomas en la Represa de Río Grande.



Fuente: Consorcio EQUITESA & EQUITRANSA (2016).

Anexo 2

Opciones para la ubicación de la Casa de Máquinas. Planta General de las Obras.

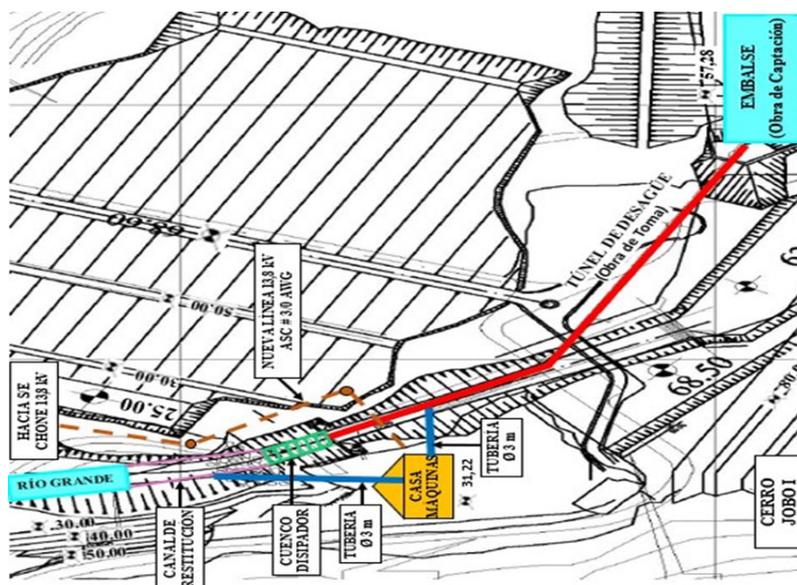


Fuente: MAATE (2008).



Anexo 3

Propuesta del Diseño de una Minicentral Hidroeléctrica



Fuente: MAATE (2008).