



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AUMENTO DE POTENCIA ELÉCTRICA DE UNA
MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE
ENERGÍA EN UNA FINCA DE CARDAMOMO**

Mario Tomás Camajá Miranda

Asesorado por Msc. Ing. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AUMENTO DE POTENCIA ELÉCTRICA DE UNA
MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE
ENERGÍA EN UNA FINCA DE CARDAMOMO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO TOMÁS CAMAJÁ MIRANDA
ASESORADO POR **MSC. ING. CARLOS ALBERTO FERNANDO NAVARRO**
FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| DECANO a.i. | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente |
| VOCAL V | Br. Fernando José Paz González |
| SECRETARÍO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| DECANO a.i. | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes |
| EXAMINADOR | Ing. Edgar Yanuarío Laj |
| EXAMINADOR | Ing. Brian Enrique Chicol Morales |
| SECRETARÍO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AUMENTO DE POTENCIA ELÉCTRICA DE UNA
MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE
ENERGÍA EN UNA FINCA DE CARDAMOMO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 28 de abril de 2022.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mario Tomás Camajá Miranda', with a horizontal line above it.

Mario Tomás Camajá Miranda



EEPMI-PP-0617-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AUMENTO DE POTENCIA ELÉCTRICA DE UNA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN UNA FINCA DE CARDAMOMO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energías renovables - Diseño y operación de proyectos hidroeléctricos**, presentado por el estudiante **Mario Tomás Camajá Miranda** carné número **201314770**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

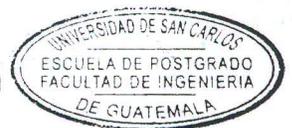
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes
Asesor(a)

Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes
Ingeniero Electricista
Colegiado 8339

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0617-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL AUMENTO DE POTENCIA ELÉCTRICA DE UNA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN UNA FINCA DE CARDAMOMO**, presentado por el estudiante universitario **Mario Tomás Camajá Miranda**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.48.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **AUMENTO DE POTENCIA ELÉCTRICA DE UNA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN UNA FINCA DE CARDAMOMO**, presentado por: **Mario Tomas Camaja Miranda** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 04/08/2023 18:11:31
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 48 CUI: 1987573361504

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecir mi vida, con sabiduría, salud y darme las fuerzas para culminar esta etapa.
- Mis padres** Les dedico este triunfo, porque a pesar de las dificultades, siempre me apoyaron, orientaron y en especial a mi madre, con mucho cariño, (q.e.p.d.) por darme ese espíritu de lucha.
- Esposa** Por estar en esos momentos difíciles y brindarme su apoyo para conseguir esta victoria.
- Mis hijas** Son el regalo más grande que Dios me dio, por su paciencia y cariño, dos motivos por los cuales luché día a día.
- Mis hermanas** Que, a pesar de la distancia, siempre han estado allí, apoyándome y en especial, a Eladia Camajá (q. e. p. d.).
- Mis hermanos** Por ser parte de mi vida y la ayuda incondicional brindada, en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Prestigiosa casa de estudio que me brindó la oportunidad de prepararme profesionalmente y, sobre todo, ser una persona de bien, con orgullo.
Mi alma mater.

**Ing. Carlos Alberto
Fernando Navarro
Fuentes**

Por su tiempo, colaboración y sobre todo brindarme sus conocimientos, incondicional, para la realización de este trabajo de graduación, mil gracias.

Mis amigos

A todos aquellos que en algún momento nos topamos en las aulas, por esas muchas noches de desvelos, luchamos hasta obtener esta gran bendición, gracias a todos por la ayuda brindada en su momento.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------------------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTAS DE SÍMBOLOS..... | VII |
| GLOSARIO..... | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| | |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 7 |
| 3.1. Descripción del problema | 7 |
| 3.2. Formulación del problema | 8 |
| 3.3. Delimitación del problema..... | 9 |
| | |
| 4. JUSTIFICACION | 11 |
| | |
| 5. OBJETIVOS..... | 13 |
| 5.1. General..... | 13 |
| 5.2. Específicos | 13 |
| | |
| 6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN | 15 |
| | |
| 7. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 7.1. Energía hidráulica..... | 17 |
| 7.1.1. Aprovechamiento de la energía hidráulica | 18 |

| | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2. | Central hidroeléctrica | 19 |
| 7.2.1. | Pequeña central hidroeléctrica "PCH"..... | 20 |
| 7.2.1.1. | Clasificación de PCH según potencia instalada | 20 |
| 7.2.1.2. | Clasificación de PCH en función de la forma de instalación..... | 21 |
| 7.2.1.2.1. | Centrales de agua fluyente ... | 21 |
| 7.2.1.2.2. | Centrales de pie de presa | 22 |
| 7.2.1.2.3. | Centrales integradas en canal de riego | 24 |
| 7.2.1.2.4. | Centrales integradas en sistemas de alimentación de agua potable | 24 |
| 7.3. | Componentes principales de la central hidroeléctrica..... | 25 |
| 7.3.1. | Embalse o presa..... | 26 |
| 7.3.2. | Desarenador..... | 26 |
| 7.3.3. | Canales | 27 |
| 7.3.4. | Cámara de carga..... | 27 |
| 7.3.5. | Tanque de presión..... | 28 |
| 7.3.6. | Tubería de presión | 28 |
| 7.3.7. | Casa de máquinas..... | 29 |
| 7.3.8. | Turbina Hidráulicas..... | 29 |
| 7.3.8.1. | Turbina Pelton | 31 |
| 7.3.8.2. | Turbina Francis..... | 31 |
| 7.3.8.3. | Turbina Kaplan | 32 |
| 7.3.9. | Generador | 33 |
| 7.3.10. | Reguladores y tablero de control | 33 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------|----|
| 7.3.11. | Regulador de voltaje automático AVR..... | 34 |
| 7.4. | Potencia eléctrica | 34 |
| 7.4.1. | Potencial de la energía hidráulica | 35 |
| 7.4.2. | Medida del potencial hidráulico | 35 |
| 7.4.3. | Evaluación del caudal | 36 |
| 7.4.3.1. | Método del recipiente | 36 |
| | 7.4.3.1.1. Equipo necesario..... | 37 |
| | 7.4.3.1.2. Procedimiento..... | 37 |
| 7.4.3.2. | Método del flotador..... | 39 |
| | 7.4.3.2.1. Procedimiento..... | 41 |
| 7.4.4. | Medida del salto bruto..... | 42 |
| 7.4.4.1. | Método de manguera de nivelación..... | 42 |
| | 7.4.4.1.1. Equipo | 43 |
| | 7.4.4.1.2. Procedimiento..... | 43 |
| 7.4.4.2. | Método del nivel de carpintero y reglas .. | 45 |
| 7.4.4.3. | Método del nivel de ingeniero..... | 46 |
| | 7.4.4.3.1. Equipo necesario..... | 46 |
| 7.4.4.4. | Procedimiento | 46 |
| 7.4.4.5. | Método usando Software..... | 48 |
| 8. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | 51 |
| 9. | METODOLOGÍA | 55 |
| 9.1. | Características del estudio..... | 55 |
| 9.2. | Fases de estudio | 56 |
| 9.2.1. | Fase 1: revisión bibliográfica..... | 56 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------|----|
| 9.2.2. | Fase 2: gestión o recolección de la información | 56 |
| 9.2.3. | Fase 3: análisis financiero | 57 |
| 9.2.5. | Fase 4: análisis y discusión de resultados | 58 |
| 10. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACION | 59 |
| 11. | FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO | 61 |
| | REFERENCIAS..... | 63 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Central de agua fluyente | 22 |
| Figura 2. Central de hidroeléctrica de embalse | 23 |
| Figura 3. Central integrada en sistemas de alimentación de agua potable..... | 25 |
| Figura 4. Esquema conceptual de una turbina | 30 |
| Figura 5. Medición del caudal usando el método del recipiente | 38 |
| Figura 6. Cálculo del área de sección transversal | 39 |
| Figura 7. Sección transversal de la corriente | 41 |
| Figura 8. Método por manguera de nivelación | 44 |
| Figura 9. Cálculo de la altura con nivel de carpintero | 45 |
| Figura 10. Cálculo de altura con nivel de ingeniero..... | 48 |
| Figura 11. Cálculo de altura con software | 49 |

TABLAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Clasificación de centrales hidroeléctricas según su potencia..... | 20 |
| Tabla 2. Elementos fase 2..... | 57 |
| Tabla 3. Diagrama de Gantt | 60 |
| Tabla 4. Factibilidad de estudio | 61 |

LISTAS DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|------------------------|----------------------------------------------------|
| Hp | Caballo de fuerza (Unidad de potencia 746 W) |
| Q | Caudal (Volumen/Tiempo) |
| Hz | Hertz, Unidad de medida de la frecuencia eléctrica |
| kWh | Kilowatt–hora medida del consumo eléctrico |
| kW | kilowatt o kilovatio, unidad de potencia |
| l | Litro (unidad de medida de volumen) |
| l/s | Litro por segundo, (unidad de medida del caudal) |
| m | Metro, (unidad de medida de longitud) |
| m³ | Metro cúbico |
| m³/s | Metro cúbico por segundo |
| P | Potencia |
| S | Segundo, unidad de tiempo |
| W | Watt o vatio, unidad de potencia. |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AVR | Regulador de voltaje automático |
| Cabeza de agua | es la distancia que una fuente de agua dado tiene que caer antes de que el punto en el que se genera energía |
| Cardamomo | es una especia proveniente de la India, la cual es utilizada en la gastronomía de diferentes países por su aroma, |
| Consumo de energía | es la cantidad de energía usada en un período de tiempo determinado. Se simboliza por kilovatio-hora (kWh). |
| Demanda eléctrica | Es la potencia útil para operar equipos eléctricos, la cual se calcula sumando todas las potencias de los equipos empleados en la finca, según la placa que instala el fabricante en cada equipo. |
| Frecuencia eléctrica | se llama frecuencia al número de ciclos por segundo en que opera la corriente alterna, es expresado en Hertz (Hz). En Centroamérica, la frecuencia eléctrica es usualmente de 60 Hertz (Hz). |
| MCH | Minicentral hidroeléctrica |

PCH

Pequeña centrales hidroeléctricas

Potencia

es la cantidad de trabajo realizado en una unidad de tiempo. Su unidad de medida es el kilovatio (kW).

RESUMEN

Esta investigación tiene como principal objetivo de realizar un análisis del aumento de potencia eléctrica de una MCH, para el mejoramiento de la calidad de energía en una finca de cardamomo, para lo cual se debe calcular el caudal, el salto neto, en base a estos dos parámetros se selecciona la turbina, tomando en cuenta sus características técnicas para luego poder dimensionar la potencia eléctrica del generador y así poder suplir la demanda requerida en dicho lugar.

El enfoque del estudio de la investigación es cuantitativo y los resultados que se obtendrán son variables del tipo continua, ya que se darán valores del tipo decimal.

Además, se utilizó un estudio descriptivo que buscará especificar valores promedios del caudal, alturas, y demanda máxima de energía eléctrica como también las propiedades y características de los componentes que conforman el sistema de generación eléctrica. Y para finalizar el alcance no corroborará una hipótesis.

La metodología, se divide en 3 fases, iniciando por una recopilación y consulta bibliográfica, adicionalmente practicar una auditoria energética de toda la finca con la finalidad de conocer la demanda eléctrica y por último la discusión de los resultados obtenidos en la visita de campo.

Para seleccionar el generador eléctrico, previamente se debe realizar los cálculos de la potencia de diseño, y para esto de igual manera, calcular el caudal, el salto neto o altura de la cámara de carga del agua, esto se debe a que la fórmula de la potencia es en función de estos factores.

Basado en el párrafo anterior el caudal de diseño para esta MCH es de $0.073 \text{ m}^3/\text{s}$ teniendo una oscilación o variación de $0.00712 \text{ m}^3/\text{s}$, que se refleja mayormente en la época de estiaje, se selecciona la potencia de diseño eléctrico tomando una altura de 300 m. de cabeza de agua y en síntesis ya podemos dimensionar el generador que supla la demanda y así tener una calidad de energía.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años el desarrollo económico y social de la humanidad ha realizado grandes avances y esto es gracias al uso eficiente de la energía eléctrica, a medida que el número de habitantes aumenta, también la demanda crece. Según el Ministerio de energía y minas en su plan indicativo de electrificación rural 2020-2032, para el año 2018 Guatemala tiene un índice global de cobertura del 91.23 % y el departamento de Alta Verapaz con 64.61 %.

Alta Verapaz a pesar de contar con muchas centrales hidroeléctricas a grandes escalas, es el departamento que presenta el índice más bajo en cuanto al acceso a dicho recurso, por tal motivo algunas aldeas, fincas etc. que están lejos de las líneas de distribución, implementaron sistemas aislados de generación eléctrica, utilizando las energías renovables, como lo son las solares y en nuestro caso la hidroeléctrica.

La problemática detectada es gracias al crecimiento de la demanda eléctrica y esto es debido al aumento poblacional de los trabajadores, así como la necesidad de aumentar la producción en la finca de cardamomo, esto a provocando problemas y fallas en la minicentral hidroeléctrica que se dispone en dicho lugar, ya que la demanda máxima excede a la que puede entregar dicha central, esto ha provocado sobrecalentamiento del generador, debido a que trabaja fuera de su capacidad nominal y esto a su vez genera sobretensiones o bajones bruscos, ocasionando fallas en electrodomésticos y equipos electromecánicos. Podemos mencionar que esta central tiene más de 30 años y en este tiempo no se le ha dado mantenimiento preventivo y correctivo.

Se pretende realizar un análisis energético y un estudio hidrológico, que arrojará dos parámetros principales como lo son, el salto neto y el caudal, según la topografía del sitio, para luego poder dimensionar la turbina y el generador eléctrico tomando en cuenta los factores de crecimientos.

Considerando que la generación aislada por medio de minicentrales hidroeléctricas, son confiables y duraderos, se puede satisfacer las necesidades de energía eléctrica en los lugares remotos. Por otra parte, en dicho lugar se cuentan con varios afluentes hídricos que se pudieran analizar si el actual no cumpliera con los requerimientos según el investigador.

La siguiente investigación constará varios capítulos, los cuales se detallan de la siguiente manera: en el primer capítulo se encontrará el marco referencial, donde se detalla el problema, se revisan investigaciones previas, delimita y justifica la problemática a resolver.

En el segundo capítulo el marco teórico, en el cual se realiza la investigación de los conceptos de las variables, central hidroeléctrica, potencia eléctrica y sus subdivisiones.

En el tercer capítulo se realizará la auditoría energética de dicha finca, estudio hidrológico, los cálculos para selección de la turbina y generador eléctrico, tomando en cuenta todos los parámetros que indiquen los estudios realizados. Y en los últimos capítulos se discutirán los resultados, conclusiones y recomendaciones.

2. ANTECEDENTES

Históricamente existen muchos trabajos de investigación, que fundamentan la repotenciación eléctrica de minicentrales hidroeléctricas, que aportan información importante para la presente investigación.

En la tesis titulada *Micro Centrales Hidroeléctricas* Muguerza, (2015) indica que estas áreas rurales con poblados alejados de las redes de distribución, con requerimientos energéticos insatisfechos, constituyen el ámbito principal donde la pequeña hidrogenación eléctrica encuentra su aplicación potencial, en tanto se cuente con recursos hídricos locales suficientes.

Por otra parte: “Los sistemas eléctricos se diseñan en función de la capacidad (potencia) máxima que deben abastecer, tanto para la unidad de generación, como para el sistema de transporte y distribución de la electricidad” (Muguerza, p.5).

A lo largo de la investigación el libro discute la forma que se debe determinar las exigencias energéticas de las comunidades rurales, como también calcular la demanda máxima de generación eléctrica de la población o usuarios finales, así como también poder analizar ciertas pérdidas en la distribución de dicha energía eléctrica y tomarlo en cuenta al calcular la demanda, lo cual será un aporte muy trascendental para la siguiente investigación.

En el artículo publicado en el 2020 y titulado *Diseño de una minicentral hidroeléctrica (MCH)* Palomeque *et al.*, (2020) plantea que las micro, medianas y grandes empresas siempre van a requerir consumo eléctrico para cualquier

proceso, para este caso se realiza la propuesta de diseño de una MCH, de una mediana empresa de floricultora.

Esta investigación será de mucha ayuda ya que se realiza el diseño de MCH, se analiza como primera instancia el caudal del río, estudio de lo consumido específicamente en los sistemas como lo son, los equipos y dispositivos electrónicos y electromecánicos con los que cuenta la entidad.

En la tesis *estudio de factibilidad para la repotenciación de la MCH de 2mw de la empresa UCEM – CEM, planta Chimborazo*. Se analizó la MCH propiedad de UCEM-CEM, la cual se pretende repotenciar dicha hidroeléctrica (Santiana, 2016).

Esta fuente será de gran ayuda para aumentar la información en esta investigación, debido a que analiza el aumento de potencia de estas minicentrales hidroeléctricas, si es viable económicamente ya que su tiempo de vida está culminando.

La tesis *Estudio de viabilidad de minicentral hidroeléctrica en el embalse de Urrunaga en Legutio (Álava)*. Para determinar el caudal de diseño con el que se equipará la turbina de la central hidroeléctrica es necesario realizar una evaluación de los recursos hidráulicos, las aportaciones que el embalse recibe y su distribución a lo largo del año (Garazi, 2017).

La recomendación y ayuda que se tendrá en este caso es para analizar el caudal y salto neto del agua, hacia la turbina, y tomando estos valores se podrá seleccionar la turbina basado en el diagrama de selección de turbinas.

El artículo *Manuales sobre energía renovable, hidraulica a pequeña escala Network*, (2002) detalla una investigación de toda la región de centro américa, sobre él la generación eléctrica utilizando tecnologías las energías renovables a pequeña escala y sin lugar a duda es una alternativa factible económicamente y ambientalmente para las comunidades aisladas de las líneas de distribución eléctrica en el área rural o fincas o empresas privadas.

Es un manual de muy buen aporte para nuestro análisis e investigación que se realizará ya que se pueden tomar ciertas normalizaciones de los tamaños de cada central hidroeléctrica, así como el cálculo o análisis del caudal y los componentes de un sistema hidroeléctrico.

El artículo *Centrales de energía renovables, generación eléctrica con energías renovables* de Carta, *et al.*, (2009) detalla los orígenes del aprovechamiento de las energías hidráulicas, así como todos los pasos por seguir si se desea implementar una pequeña central hidroeléctrica, principiando con el estudio para el afluente, canales, el salto bruto, las tuberías forzadas, cálculo del caudal utilizando dos métodos, la selección de la turbina y por último elegir el generador según la demanda estimada.

Sin lugar a duda el aporte de este libro podría abarcar en su totalidad las demandas requeridas en nuestra investigación, pero los aportes, experiencias y conclusiones de varios autores siempre enriquecerán cualquier reporte.

En el artículo 7, de la *Ley General de Electricidad* (1996): que rige todo lo relacionado con todos los ámbitos entorno a electricidad en Guatemala, establece los principios siguientes:

La generación de electricidad es libre y no requiere, para tal efecto, autorización o condición por parte del Estado, requiriendo únicamente las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país. Sin embargo, para poder utilizar con este objeto cualquiera de los bienes del Estado, se necesitará de la respectiva autorización del Ministerio, esto en todos aquellos casos en los cuales la potencia de la central sea superior a 5MW. (Ley General de Electricidad, 1996, p.7)

Debido a esta ley, en Guatemala no es obligatorio obtener permisos para implementar MCH, esto es un incentivo a las fincas o bien comunidades que no tengan el servicio de energía eléctrica, para finalizar se tienen varios antecedentes de distintos países que sin lugar a duda enriquecerán esta investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se tiene conocimiento, existen lugares muy remotos y de difícil acceso en el país, en donde las empresas distribuidoras de energía eléctrica no llegan, ya sea porque no es viable técnica y económicamente distribuir energía eléctrica, varios usuarios de aldeas y fincas no han podido contar con esos servicios. Por lo cual desde hace varias décadas se han organizado con el fin de utilizar las fuentes de energías renovables.

Contexto general

Existen varios tipos de tecnologías para producir energías renovables, como lo son: radiación solar, geotérmica, eólica, biomasa y la hidráulica entre otros debido a que Guatemala, se caracteriza por ser geográficamente con alto potencial, de recurso hídrico y que existe mucha bibliografía para implementar hidroeléctricas desde hace muchos años. Es importante detallar que en varios lugares se han implementado minicentrales hidroeléctricas con propósito de suplir sus necesidades energéticas básicos.

3.1. Descripción del problema

La problemática detectada es gracias al crecimiento de la demanda eléctrica y esto es debido al aumento poblacional de los trabajadores, así como la necesidad de aumentar la producción en la finca de cardamomo, esto ha provocado problemas y fallas en la minicentral hidroeléctrica que se dispone en dicho lugar, ya que la demanda máxima excede a la que puede entregar dicha central, esto ha provocado sobrecalentamiento del generador, debido a que trabaja fuera de su capacidad nominal y esto a su vez genera sobretensiones o

bajones bruscos, ocasionando fallas en electrodomésticos y equipos electromecánicos. Se puede mencionar que esta central tiene más de 30 años y en este tiempo no se le ha dado mantenimiento preventivo y correctivo, por lo que se puede considerar que su tiempo de vida está culminando.

Todos estos factores han ayudado a que la minicentral hidroeléctrica se quede corta y no supla la potencia eléctrica de la demanda estimada a la actualidad en dicho lugar.

3.2. Formulación del problema

- Pregunta central

¿Qué potencia eléctrica en kW se debe generar en la minicentral hidroeléctrica, para satisfacer la demanda eléctrica y tener un suministro correcto de energía eléctrica garantizando la calidad de energía?

- Preguntas auxiliares
 - ¿Cuál es el caudal necesario para repotenciar la minicentral hidroeléctrica y aumentar la generación de energía eléctrica, según la demanda requerida?
 - ¿Qué tipo de turbina se debe seleccionar para lograr el mayor aprovechamiento del caudal según las condiciones geográficas y así obtener el aumento de generación de potencia eléctrica en la minicentral hidroeléctrica?

- ¿Dé cuánta potencia eléctrica en kW debe ser el nuevo generador por instalarse para suplir la demanda requerida?

3.3. Delimitación del problema

“Los sistemas eléctricos se diseñan en función de la capacidad (potencia) máxima que deben abastecer, tanto para la unidad de generación, como para el sistema de transporte y distribución de la electricidad” (Muguerza, pp. 5-6).

Tomando como principio lo anteriormente descrito, si la demanda máxima excede a la generada por la central hidroeléctrica es necesario hacer un estudio de repotenciación, para suplir ese excedente, por el cual, en este estudio se deben considerar todos los factores que componen dicha central, realizar el estudio hidrológico, analizar la tubería, la potencia de la turbina y sobre todo seleccionar el generador según los resultados obtenidos y cálculos de la demanda máxima, dejando un factor de crecimiento a largo plazo.

4. JUSTIFICACION

La presente investigación, se enfocará en el área de energías renovables específicamente la línea de diseño y operación de proyectos hidroeléctricos para la maestría Energía y Ambiente.

Al realizar el siguiente estudio se aportará un precedente de cómo repotenciar y diseñar una minicentral hidroeléctrica, debido al aumento de proyectos, destinados al diseño de minicentrales o centrales hidroeléctricas que ya estén en sus últimos días de vida útil, que, por muchos factores o un mal diseño, se han quedado cortos e incumpliendo en generar la demanda estimada actual.

Para poder repotenciar cualquier minicentral hidroeléctrica, se deben realizar varios estudios, entre estos analizar el afluente, desde la boca toma, el desarenador, los canales de conducción, la tubería de presión forzada, para luego obtener los valores del salto neto y el caudal.

Teniendo un valor promedio del caudal, se puede dimensionar la potencia de diseño de la MCH, como también del equipo electromecánico, la turbina y el generador.

Para dimensionar y seleccionar los equipos electromecánicos, se deben realizar una auditoría energética y obtener la demanda máxima de la finca de cardamomo, quien será la beneficiaria, los trabajadores que tienen sus hogares dentro de la finca, así como todo investigador que desee realizar algún diseño y repotenciación de una MCH, podrán tomarlo como una guía.

Dicho proyecto es oportuno, debido a que beneficia a la sociedad, al reducir el consumo energético generadas por combustibles fósiles y esto hace que se reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente, como también beneficiará a la comunidad ya que podrán utilizar energía eléctrica limpia.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar la potencia eléctrica en kW que se debe generar en la minicentral hidroeléctrica, para satisfacer la demanda eléctrica y tener un suministro eficiente de energía eléctrica garantizando la calidad de energía.

5.2. Específicos

- Calcular el caudal necesario para repotenciar la minicentral hidroeléctrica y aumentar la generación de energía eléctrica, según la demanda requerida.
- Seleccionar el tipo de turbina para lograr el mayor aprovechamiento del caudal según las condiciones geográficas y así obtener el aumento de generación de potencia eléctrica en la minicentral hidroeléctrica.
- Dimensionar la potencia eléctrica en kW que debe tener el nuevo Generador por instalarse y así suplir la demanda requerida.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En la región de Centroamérica existen aproximadamente más de 5 millones de personas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica.

Y si se analiza la cobertura eléctrica nacional para el año 2018 Guatemala alcanzó una cobertura eléctrica del 91.23 %, presentando una tendencia de aumento en los últimos años. A la fecha, aún hay departamentos que presentan índices de cobertura por debajo del 80 % (Ministerio de energía y minas, (2018).

Teniendo en cuenta que la región de Alta Verapaz tiene el índice más bajo con 64.21 % de cobertura de electrificación a nivel nacional y con el siguiente estudio se apoyará para reducir la brecha ya que se pretende repotenciar la MCH que a su vez entregará energía eléctrica a dicha finca y a varias casas de los trabajadores, adicionalmente se podrá tomar como guía para otras comunidades, donde las empresas distribuidoras no prestan el servicio.

Con este estudio se pretende mejorar el nivel del voltaje, teniendo como consecuencia una frecuencia constante y firme, consiguiendo así la calidad de energía, la confiabilidad del sistema aislado de generación eléctrica. Para lograr este objetivo se debe realizar el estudio hidrológico, cálculo de la potencia de diseño de la turbina tipo Pelton y para luego seleccionar el generador eléctrico según la potencia de la turbina.

Estos tipos de proyectos generalmente no son implementados en las fincas y comunidades aisladas, del sistema de distribución de energía eléctrica, a pesar de contar con afluentes y recursos económicos. Quizás no los pongan en práctica por desconocimiento o por falta de acceso a la información, por tal

motivo podrán utilizar este estudio como una guía e implementar según sus necesidades, adicionalmente apoyar al medio ambiente ya que evitan emitir gases de efecto invernadero, al evitar la generación con combustibles fósiles.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energía hidráulica

En teoría, cuando se tiene una diferencia de alturas, se puede utilizar la energía que crea la masa del agua en un nivel más bajo, Carta, *et al.*, (2009) lo define de la siguiente manera:

En la práctica, la energía hidráulica se obtiene a partir de cualquier masa de agua en movimiento. Tal puede ser el caso de la corriente de un río, como la corriente que discurre por un tubo originada por una diferencia de altura entre dos pantanos. En ambos casos, la energía potencial del agua se transforma en energía cinética, y esta es la aprovechable. (p.420)

Para Santiana (2016) La utilización de la energía del agua proveniente del ciclo hidrológico. Entre las formas de energía que posee el agua tenemos: Energía cinética, es aprovechar la velocidad de esta y la energía potencial, elevación del agua en este caso se refiere a la explotación de esta energía entre dos puntos de diferente altura. (p.19)

La energía cinética es aprovechable de distintas formas, en la antigüedad la utilizaban para mover molinos de agua, conectados a engranes y así poder triturar los granos cosechados, convirtiéndolo en harina.

7.1.1. Aprovechamiento de la energía hidráulica

La explotación de este recurso energía hidráulica se ha utilizado desde hace muchos siglos por lo que se ha perfeccionado día a día.

Flórez (2011) afirma que:

Desde el momento de la aplicación comercial de la energía eléctrica a final del siglo XIX, esta no ha dejado de ser un factor determinante para la economía y el desarrollo. Si bien, es conocido que inicialmente fue utilizada para los sistemas de alumbrado público de las principales ciudades, sustituyendo los faroles de petróleo y gas; posteriormente, a la vez que se convirtió en la fuerza motriz que necesitaba la industria y el comercio, también se constituyó como una herramienta necesaria para el bienestar de los hogares. (p.19)

La energía potencial del agua se transforma en energía cinética y esta a su vez en energía mecánica, por medio de las turbinas hidráulicas, colocadas en la base de los correspondientes embalses reguladores. El empleo de la energía captada es, casi exclusivamente, para la producción de electricidad, acoplando a la turbina hidráulica un generador eléctrico. (Carta, *et al.*, 2009 pág.49)

En la actualidad las centrales hidroeléctricas utilizan la energía hidráulica para transformar la energía potencial a energía eléctrica, como se describe a continuación.

7.2. Central hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas, es donde se realiza la transformación a energía eléctrica, por medio de varios procesos y equipos.

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten aprovechar la energía potencial gravitatoria (masa a una cierta altura) contenida en el agua de los ríos, al convertirla en energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas acopladas a generadores eléctricos (Santiana, 2016).

Las centrales hidroeléctricas pueden definirse como las instalaciones en las que se aprovecha la energía contenida en una masa de agua ubicada a una cierta altura y la transforma en energía eléctrica. Esto se logra llevando el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que existen una o varias turbinas hidráulicas que son movidas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores, produciendo energía eléctrica. (Cabal, 2014, p.15)

Una Central hidroeléctrica se basa en el mismo principio al de los molinos de agua, la fuerza de la corriente del río movía una rueda vertical de paletas y esté conectado al eje y a una piedra de moler giraban en concordancia.

7.2.1. Pequeña central hidroeléctrica “PCH”

Existen distintos tipos de centrales hidroeléctricas y las definiciones no difieren en gran manera según los distintos autores, para detallarlos se describen a continuación.

“Las instalaciones hidroeléctricas suelen clasificarse en función de diferentes parámetros altura efectiva del agua, capacidad instalada, tipo de tecnología empleada, entre otros.” (Carta, *et al.*, 2009 p.420).

7.2.1.1. Clasificación de PCH según potencia instalada

En el boletín energético de la organización latinoamericana de energía OLADE, a las PCH las clasifican según potencia instalada.

Tabla 1.

Clasificación de centrales hidroeléctricas según su potencia

| POTENCIA | TIPO |
|---------------------------|-------------|
| Pico centrales | 0.1 - 5 Kw |
| Micro Centrales | 5 - 50 kW |
| Mini Centrales | 50 – 1000kW |
| Pequeñas Centrales | 1 – 5 MW |
| Centrales hidroeléctricas | < 5 MW |

Nota. La tabla presenta la clasificación de centrales de hidroeléctricas según su potencia. Elaboración propia, usando Word.

7.2.1.2. Clasificación de PCH en función de la forma de instalación

A continuación, se presenta la clasificación de PCH en función de la forma de instalación.

7.2.1.2.1. Centrales de agua fluyente

Estas centrales se caracterizan por que toman una parte del caudal del río y lo dirigen hacia la turbina por medio de una tubería, para luego convertir su energía cinética y potencial en energía mecánica, así como lo menciona Castro (2006):

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río. (p.27)

Figura 1.

Central de agua fluyente



Nota. Como se puede observar en la figura 1 se detallan los elementos principales de dichas centrales y que en ocasiones se requieren una que otro componente según las necesidades del sitio. Obtenido de González, Calero, Colmenar y Castro (2009) *Centrales de energías renovables*. (p.431.) Pearson.

Una cualidad de las PCH de agua fluyentes es que dependen directamente de la hidrología, se debe tomar parte del río para inyectarlo a la tubería forzada la cual mueve la turbina y así girar el rotor del generador y como resultado crear energía eléctrica.

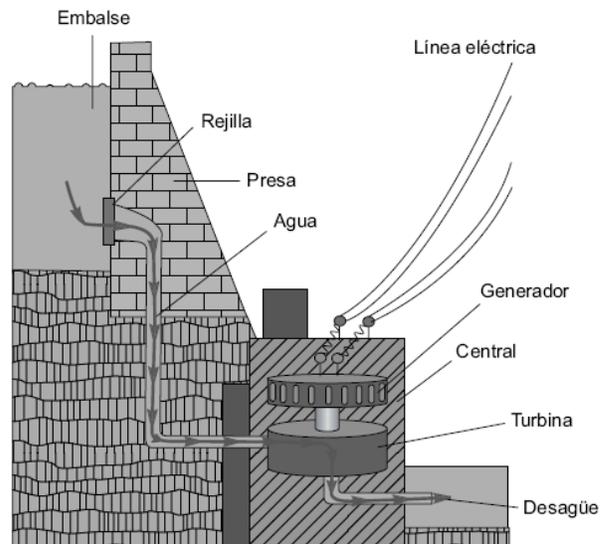
7.2.1.2.2. Centrales de pie de presa

Estas centrales también llamadas de embalse o centrales de regulación, dichas centrales tienen la posibilidad de almacenar el agua de algún río.

Con estas instalaciones es necesaria la construcción de un embalse que permita el almacenamiento de un porcentaje de agua del río, permitiendo regular el caudal que se desea desviar hacia las turbinas. Este tipo de infraestructura posee la ventaja de que se tiene control de cuándo se puede realizar la generación eléctrica de acuerdo con las necesidades que se desean cubrir, sin embargo, requiere una alta inversión en obra civil y generalmente mayor alteración del ecosistema del lugar de instalación. (Guillén, 2012, pág.35)

Figura 2.

Central de hidroeléctrica de embalse



Nota. La imagen muestra el tipo de centrales que puede almacenar aguas del río y corrientadas de lluvia. Obtenido de González, Calero, Colmenar y Castro (2009) *Centrales de energías renovables*. (p.432.) Pearson.

Sin embargo, los costos de la obra civil se disparan. La ventaja de estas centrales es de que cuando se llega el invierno, se pueden almacenar grandes cantidades de aguas, para luego utilizarlo en épocas secas.

7.2.1.2.3. Centrales integradas en canal de riego

En estas centrales se pueden mencionar 2 tipos según Castro (2006):

Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.

Aquellas que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano. La central en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes en el canal. (p.30)

Se podría mencionar que en esta central se debe utilizar o instalar un bypass para poder suministrar del líquido a las comunidades al igual que las centrales en sistemas de agua potable.

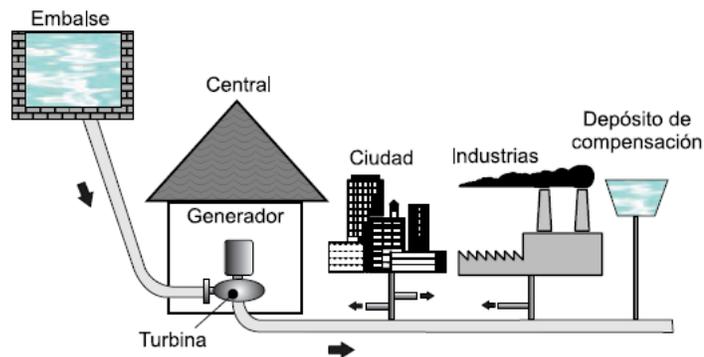
7.2.1.2.4. Centrales integradas en sistemas de alimentación de agua potable

Estas centrales en pocas palabras están incrustadas en el sistema de tuberías del agua potable de las comunidades.

“Se instala una turbina a la salida de las tuberías de presión, que suministra el agua potable desde los embalses a la estacione de tratamiento, con el fin de convertir la energía hidrostática del agua en energía eléctrica” (Carta, *et al.*, 2009 p. 435).

Figura 3.

Central integrada en sistemas de alimentación de agua potable



Nota. La figura presenta los elementos que integran un sistema de alimentación de agua potable. Obtenido de González, Calero, Colmenar y Castro (2009) *Centrales de energías renovables.* (p.435.) Pearson.

La mayoría de las ciudades o comunidades, se abastecen de agua potable a través de tuberías y quizás por desconocimiento de esta no se aprovecha la utilización de este tipo de centrales hidroeléctricas que bien, pudieran crear energía eléctrica.

7.3. Componentes principales de la central hidroeléctrica

A continuación, se presentan los principales componentes de la central hidroeléctrica.

7.3.1. Embalse o presa

Las presas son un tipo único de infraestructura en las que el valor del bien que producen (un suministro regulado del agua) tiende a incrementar a lo largo del tiempo a medida que los suministros de agua se vuelven escasos al compararse con la demanda. Mientras que los sistemas hidráulicos modernos consisten de varios elementos para apropiarse del agua tanto superficial como subterránea, en muchas regiones, los embalses son, por sí solos, el componente más importante. (Flores, 2016, p.9)

7.3.2. Desarenador

Según la empresa de consultoría e inversiones Cabal (2014):

El agua captada del río a través de la bocatoma y conducida por el canal de conducción, transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión compuestas de materiales abrasivos, como arena, que ocasionan el rápido desgaste de los álabes de la turbina y también el material de la tubería de presión por efecto de la fricción.

Para eliminar este material se usan los desarenadores, que reducen la velocidad del agua para que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo, de donde podrán ser eliminadas. Es decir, un

desarenador cumple la función de sedimentar las partículas en suspensión que lleva el agua en el canal de conducción. (p.35)

7.3.3. Canales

Para poder llevar el agua desde la bocatoma hacia la cámara y tubería forzada se deben construir los canales, la fundación para el desarrollo.

La función principal del canal es conducir el caudal de diseño desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por uno o varios desarenadores y otras obras que puedan construirse en el trayecto. Existen diferentes tipos de canales por lo que su utilización depende de las características del terreno, facilidad de construcción y la existencia de materiales. Entre los canales más conocidos por su forma geométrica son los rectangulares, trapezoidales y circulares, los cuales pueden ser abiertos o cerrados, a excepción de los circulares que generalmente son tuberías (Fundación Red de Energía, s.f. pág.10)

7.3.4. Cámara de carga

La función de la cámara de carga es actuar como una reserva de agua adicional para mantener la presión de caída de la tubería. La cámara de carga requiere de una entrada continua de agua desde el canal para mantener su nivel máximo. Un diseño práctico y funcional de la cámara de carga es la que se construye junto al desarenador, formando una sola estructura denominada desarenador-cámara. (Fundación Red de Energía, s.f., p.13)

7.3.5. Tanque de presión

Es una parte de la obra civil de la Central Hidroeléctrica que cumple una principal función hidráulica de los vasos comunicantes, ya que el agua recupera dentro del mismo el nivel que haya en el embalse. El tanque de Presión absorbe la potentísima onda de choque, llamada Golpe de Ariete. (Santillana, 2016, p.22)

Este componente es primordial, debido a que por medio de esto se eliminan las sobrepresiones y los golpes de ariete que se pudieran dar en la tubería forzada.

7.3.6. Tubería de presión

También llamada tubería forzada, que sirve para llevar el vital líquido desde el tanque de presión hacia el cuarto de máquinas, como lo menciona el siguiente autor:

Las tuberías de presión son las encargadas de transportar el agua a presión hasta la turbina. Transportar un cierto caudal de agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas no parece tarea difícil, sin embargo, el diseño de una tubería forzada no es asunto fácil. (Cabal, 2014, p.38)

Cada autor recomienda tener en cuenta y preparar para las sobrepresiones y el golpe de arieta.

7.3.7. Casa de máquinas

En las centrales hidroeléctricas se deben tener en cuenta esta obra civil, la cual albergara la mayor parte de equipos electromecánico y tableros de control.

En el interior del edificio central o casa de máquinas se encuentran las turbinas, los generadores eléctricos y demás aparatos de regulación y control. Sus dimensiones y forma dependen del número y tipología de los equipos electromecánicos que se instalen en su interior y su ubicación requiere adecuados estudios topográficos, geológicos-geotécnicos y de accesibilidad. (Carta, *et al.*, 2009, p.443)

Esta obra civil es muy importante, ya que esto servirá para resguardar del soy y lluvia a todos los equipos electromecánicos de la central hidroeléctrica.

7.3.8. Turbina Hidráulicas

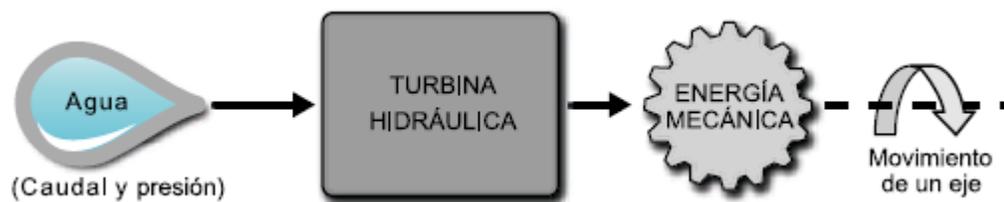
Esta máquina funciona por medio de la energía del agua, que desciende en la tubería forzada y generan en él energía mecánica, que a su vez genera energía eléctrica al accionar el generador.

Es una parte fundamental de las minicentrales hidroeléctricas, se puede dar un esquema conceptual de la turbina a continuación. La turbina hidráulica es el dispositivo encargado de convertir la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación de un árbol, el cual se conecta al árbol de baja de una caja multiplicadora de engranajes con el propósito de elevar las revoluciones hasta la velocidad de rotación de un

generador eléctrico acoplado al árbol de alta de dicha caja. (Carta, *et al.*, 2009 p.443)

Figura 4.

Esquema conceptual de una turbina



Nota. La figura presenta la conformación del esquema conceptual de una turbina. Obtenido de González, Calero, Colmenar y Castro (2009) *Centrales de energías renovables*. (p.443.) Pearson.

Según su funcionamiento se pueden clasificar en dos grupos: de acción y reacción.

Las turbinas de acción aprovechan la presión dinámica debida a la velocidad del agua en el momento de su acción en la turbina, una de ellas es la Pelton. Las turbinas de reacción aprovechan además la presión estática al trabajar en el interior de compartimentos cerrados a presión superior a la atmosférica, en estas están el tipo Francis y Kaplan. (Carta, *et al.*, 2009 p.443)

7.3.8.1. Turbina Pelton

El nombre se da en honor a su creador Allan Pelton, por su diseño tienen una eficiencia muy alta.

Es el modelo más antiguo de turbinas y uno de los más utilizados en el mundo. Esta máquina funciona por el impacto del chorro de agua sobre los álabes o cucharas. La turbina Pelton es una máquina de diseño y construcción robusta, de alta confiabilidad y permite altas eficiencias. A diferencia de la mayoría de los demás modelos, se caracteriza también por su alta eficiencia cuando trabaja a caudales parciales

Las turbinas Pelton se utilizan frecuentemente en pequeños aprovechamientos por su sencillez de fabricación, fácil montaje y altos rendimientos, especialmente cuando se trata de turbinas con uno o dos inyectores. (Cabal, 2014, p.40)

Esta turbina de acción está diseñada para sistemas con salto alto, hasta unos centenares de metros.

7.3.8.2. Turbina Francis

Esta turbina está catalogada como de reacción ya que reciben el agua a tubo lleno.

En el caso de la turbina Francis, hay una variedad de diseños que permiten una cierta relatividad en su comportamiento. Es decir, para una altura y caudal determinado se pueden obtener diferentes velocidades de giro de la máquina dependiendo del diseño de los álabes, por tratarse de una máquina a reacción. (Cabal, 2014, p.42)

Una de las características de las turbinas de reacción es que el rodete debe estar sumergido totalmente para que funcione eficazmente.

7.3.8.3. Turbina Kaplan

La turbina Kaplan cuenta, básicamente, con los mismos componentes que la turbina Francis, es decir, dispone de: cámara de alimentación, predistribuidor, distribuidor, rodete y tubo de aspiración. Sin embargo, el rodete de la turbina Kaplan, a diferencia de la turbina Francis, está compuesto por una hélice cuyas palas son ajustables, lo que le proporciona un mayor rango de operación con más altos rendimientos. Por tanto, la turbina Kaplan cuenta con dos mecanismos de regulación: el distribuidor y el rodete. (Carta, *et al.*, 2009, p.450)

Varios autores concuerdan que esta turbina se puede dividir en 2 tipos, semi-Kaplan y Kaplan y se diferencian en que el primero no cuenta con distribuidor regulable. “Curvas características de las turbinas”.

7.3.9. Generador

Para transformar la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica se utilizan generadores eléctricos. El generador puede ser de corriente continua (dinamo) o de corriente alterna (alternador). Estos últimos son los únicos que se utilizan actualmente. El alternador está compuesto de dos partes fundamentales: el rotor o inductor móvil, encargado de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina y el estator o inducido fijo, en el que se genera la corriente eléctrica. (Carta, *et al.*, 2009, p.457)

Estos generadores pueden ser, generador síncrono o de inducción y por lo regular la mayor parte de los generadores utilizados son síncronos.

7.3.10. Reguladores y tablero de control

Es primordial proteger los equipos de control y para esto se deben instalar los tableros de control, que no es más que un gabinete plástico que internamente albergará y protegerá dichos equipos.

Se encargan de mantener constante el voltaje de trabajo. Evitan las subidas y bajadas de voltaje que pueden dañar los artefactos o equipos de los usuarios.

Los reguladores pueden ser de velocidad (electromecánicos/oleo hidráulicos) o de carga. Los reguladores electrónicos de carga son los más utilizados en las minis y microcentrales por su bajo costo, fácil operación y mantenimiento.

En el tablero de control se encuentran los instrumentos de control y protección como: voltímetro, amperímetro, medidor de frecuencia y medidor de potencia y energía, relés y anunciadores (Cabal, 2014).

7.3.11. Regulador de voltaje automático AVR

Si se desea automatizar el proceso de monitoreo de los voltajes, se le debe integrar a las pequeñas centrales hidroeléctricas un AVR.

Es un dispositivo fabricado con elementos de estado sólido montado sobre una tarjeta impresa. Su misión es mantener el nivel de voltaje constante a cualquier condición de carga dentro del valor nominal del alternador aun con variaciones de la velocidad (cinco por ciento). Toma como señal el voltaje de la salida del alternador, la compara y emite automáticamente hacia el campo de la excitatriz la corriente continua necesaria para mantener el voltaje en el nivel de calibración. (Cabal, 2014, p.49)

Ciertos autores no recomiendan instalar un AVR a las minicentrales que utilicen menos de 100Kw ya que la implementación de esto genera un costo muy alto al proyecto.

7.4. Potencia eléctrica

A continuación, aspectos específicos en relación con la potencia eléctrica.

7.4.1. Potencial de la energía hidráulica

Los proyectos de centrales hidroeléctricas para poder generar energía eléctrica usan la potencia del agua que cae de cierta altura, esta energía tiene la capacidad de mover la turbina que a su vez mueve el generador.

Para poder determinar esta potencia se utiliza la fórmula siguiente según Velez, (2013)

La potencia disponible que tendrá la central hidroeléctrica varía en función del caudal y el salto neto que han sido establecidos de acuerdo con las condiciones topográficas y meteorológicas de la zona donde se pretende instalar la misma.

Las turbinas convierten la presión del agua en energía mecánica en su eje, que puede ser usada para mover un generador eléctrico u otro tipo de maquinaria. (pág.56)

7.4.2. Medida del potencial hidráulico

La potencia disponible es proporcional al producto de la altura y el caudal. La fórmula general para cualquier sistema hidráulico es:

$$(1) \quad P = \eta \rho g Q H \cdot [W]$$

Donde: P = potencia mecánica producida en el eje de la turbina en W

η = eficiencia hidráulica del equipo (Turbina, generador y transformador)

ρ = Densidad del agua ($1.000\text{kg}/\text{m}^3$)

g = gravedad ($9.8\text{ m}/\text{s}^2$).

Q = Caudal (m^3/s).

H = Salto bruto en metros.

Como se puede ver en la ecuación de la potencia, es necesario saber el caudal por lo consiguiente se explica la forma de calcularlo.

7.4.3. Evaluación del caudal

Para evaluar el caudal hay varios métodos, en esta oportunidad se explicarán los más comunes y sencillos que se utilizan de acuerdo con las características de cada río.

“La medición se debe realizar durante la época seca (estiaje), cuando el caudal en el río es mínimo. En la época lluviosa se debe medir cuánto sube el nivel del agua” (BUN-CA, 2014, p.9).

7.4.3.1. Método del recipiente

El método del recipiente regularmente es uno de los más utilizados debido a que no se requieren equipos sofisticados más que un recipiente, reloj y muchas ganas de mojarse. Según lo que comenta Dávila *et al.*, (2010):

El método del recipiente es una manera muy simple de medir el caudal de un determinado arroyo. Todo el caudal por medir es desviado hacia un

balde, barril o cualquier recipiente con volumen conocido, luego se anota el tiempo que toma llenarlo. El volumen del recipiente se conoce y el resultado del caudal se obtiene simplemente dividiendo este volumen por el tiempo de llenado. La desventaja de este método es que todo el caudal debe ser canalizado o entubado al recipiente. A menudo es necesario construir una pequeña presa temporal. Este método resulta práctico y muy útil para caudales pequeños. (pág.50)

7.4.3.1.1. Equipo necesario

Los equipos requeridos y necesarios según Dávila *et al.*, (2010) son los siguientes:

Un recipiente donde se conozca su capacidad en litros, puede ser tonel, un balde, etc. un reloj o cronómetro de profesional o con buena precisión en segundos; un pico y pala; un canal pudiendo ser tubo PVC y hojas y lapicero para notas. (pág.50)

7.4.3.1.2. Procedimiento

El procedimiento por seguir se establece de la siguiente manera por Dávila *et al.*, (2010):

- Se realiza una tapada tipo mini presa, utilizando la pala y el pico, con el objetivo de poder encausar el río hacia el canal tipo PVC,

dejándole un poco de desnivel para provocar una caída libre del chorro del agua, hacia el recipiente.

- Con el reloj o cronómetro, ayudado por otra persona, se mide el tiempo en que tarda el recipiente en llenarse, y este proceso se repite varias veces. (pág.50)

Figura 5.

Medición del caudal usando el método del recipiente



Nota. La imagen presenta la medida de caudal usando un barril de capacidad conocida. Obtenido de Dávila, Vilar, Villanueva y Quiroz (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas* (p.50). CEDECAP.

7.4.3.2. Método del flotador

Este método es utilizado cuando en el río o afluente no existe turbulencia y el flujo del agua es tranquilo, eso sí existe gran cantidad de agua, Carta (2009) describe la siguiente ecuación para determinar el caudal.

El aforo de una corriente de agua es la medida del caudal Q circulante que pasa por una sección A en un momento determinado.

$$(2) \quad Q = kvA$$

Donde:

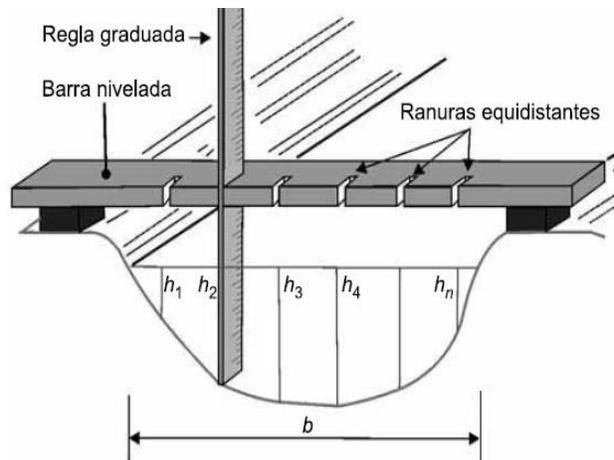
A = Area de la sección transversal.

v = Velocidad.

k = Factor de corrección de velocidad según la relación s/p

Figura 6.

Cálculo del área de sección transversal



Nota. El área de la sección transversal se calcula haciendo n trapezoides como se observa en la figura 6. Obtenido de Carta *et al.*, (2009) *Centrales de energías renovables*. (p.424) Pearson Educación S.A.

Mediante el uso de reglas graduadas se miden las alturas o lados de los trapecios y se determina el área mediante la ecuación siguiente:

$$(3) \quad A = b \frac{h_1+h_2+\dots+h_n}{n}$$

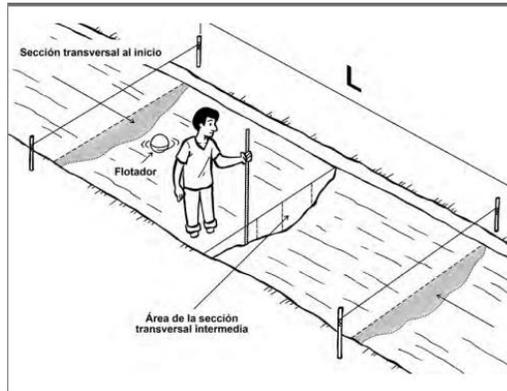
El cálculo de la velocidad promedio del agua se puede llevar a cabo mediante diversas técnicas. Una de ellas consiste en utilizar molinetes que permitan medir la velocidad de la corriente en un número suficiente de puntos de esa sección. (Carta *et al.*, 2009, pág.424)

Pero en esta oportunidad explicaremos con flotadores que pueden ser pedazos de madera, corchos para medir el tiempo preestablecido del río. Se sacan los promedios de estos resultados para obtener la velocidad superficial del flujo del agua (Cabal, 2014).

Esta velocidad deberá ser reducida por un factor de corrección para hallar la velocidad media de la sección. Este factor depende de la profundidad de la corriente. Multiplicando el área de la sección promedio por la velocidad del caudal promediada y corregida se obtiene el volumen de agua estimado que fluye. Las imprecisiones de este método son obvias. (Dávila *et al.*, 2010, pág.52)

Figura 7.

Sección transversal de la corriente



Nota. La figura presenta el modelo de lo que es una sección transversal de la corriente. Obtenido de Dávila, Vilar, Villanueva y Quiroz (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas* (p.53). CEDECAP.

7.4.3.2.1. Procedimiento

Para realizar este procedimiento según Dávila *et al.*, (2010):

- En el río se selecciona un tramo recto y que mejor si tiene sección uniforme.
- Al tener el tramo recto se mide la longitud (L) en metros y se entierran las estacas.
- Amarrar un lazo o cordel a las estacas transversalmente
- Calcular la velocidad superficial, de flujo en el tramo seleccionado, utilizando el flotador, se toma el tiempo en que recorre el tramo o longitud L con un cronometro, esto se debe realizar varias veces.

Con esto se saca el tiempo promedio y ya se puede calcular la velocidad superficial con la ecuación (pág.52).

$$(4) \quad v = \frac{L}{T_p}$$

Por último, sustituimos en la ecuación 2 los valores obtenidos de la ecuación 3 y 4 de este modo se calcula el caudal utilizando el método del flotador, al realizar los pasos anteriormente descrito.

7.4.4. Medida del salto bruto

Existen varios métodos para calcular la altura entre dos puntos, a continuación, se presentarán los más comunes y de fácil aplicación, en concreto la altura a investigar sería desde el tanque de presión hasta la turbina.

7.4.4.1. Método de manguera de nivelación

Una explicación de este método lo presenta la “Empresa de Consultoría e Inversiones CABAL, S.A” (2014):

Es recomendado especialmente para lugares con pequeños saltos; es económico, razonablemente preciso y poco propenso a errores. En la figura 8 se muestra el principio del método. Es necesario eliminar las burbujas de aire ya que podrían llevar a errores. Hay que realizar la prueba dos o tres veces, para estar seguros de que los resultados finales son correctos y confiables. Se recomienda comparar los resultados obtenidos contra los de otros métodos. (p.19)

7.4.4.1.1. Equipo

El equipo necesario para realizar este método es según la Empresa de Consultoría e Inversiones CABAL, S.A (2014): “Una manguera plástica transparente rellena de agua”, “Dos piezas de madera con marcas fijas en centímetros o metro, hasta pudieran las mismas personas” y “Un cuaderno y lapiceros para anotar los datos obtenidos” (pág.19).

Como se puede ver, los materiales son mínimos y es fácil disponer de ellos.

7.4.4.1.2. Procedimiento

Los procedimientos por realizar son fáciles de realizar según “CABAL, S.A” (2014) se describen a continuación:

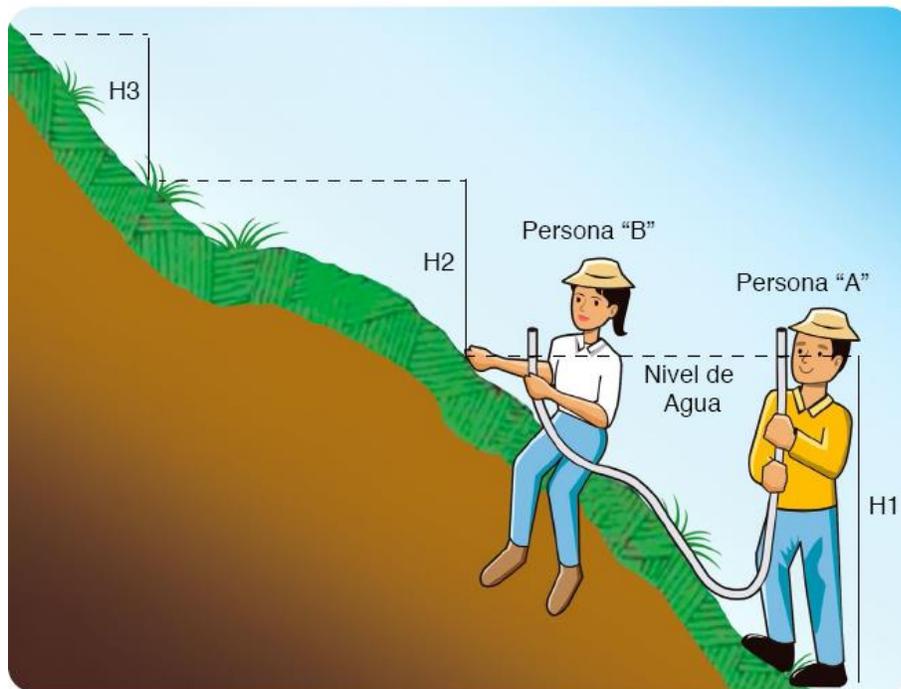
- Se recomienda iniciar la medición en el punto más alto. la persona 1 sostiene la manguera con agua y la persona 2 camina hacia abajo, justo donde los ojos de la otra persona 2 se encuentren a nivel de los pies de la persona 1. En ese punto, la persona 2 deberá mantener el extremo de la manguera llena de agua a la altura de su cabeza. La persona 1 deberá nivelar la manguera con lo que sería el nivel del agua en el punto más alto. Seguidamente se coloca verticalmente una varilla o cinta graduada para medir el nivel de agua en su extremo.
- Se repite el procedimiento hasta llegar al nivel más bajo. Para ello se alternarán las personas que caminarán cuesta abajo, es decir, al finalizar la primera medida, la persona 2 que se está en el punto más bajo, seleccionará el punto inicial para la segunda medida (B1),

y la persona 1 bajará la cuesta hasta repetir lo indicado en el párrafo anterior (posición 2). Anotar los datos y sumar las alturas H1, H2, etc., para obtener la altura bruta.

- Si el suelo no tiene una pendiente definida, sino que sube y baja, siga el mismo procedimiento restando las medidas que corresponda (pág.19).

Figura 8.

Método por manguera de nivelación



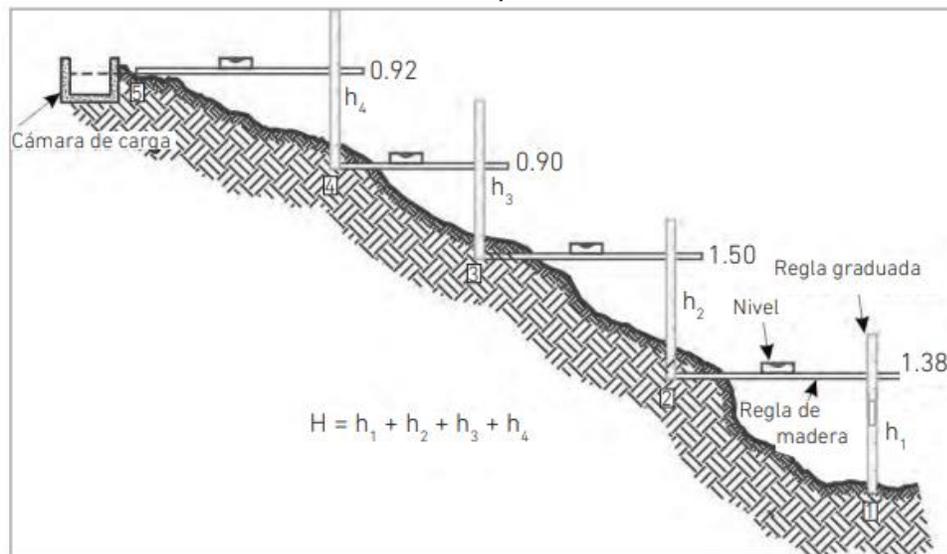
Nota. La figura presenta el funcionamiento del método por manguera de nivelación. Obtenido de Dávila, Vilar, Villanueva y Quiroz (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas* (p.16). CEDECAP.

7.4.4.2. Método del nivel de carpintero y reglas

Este método utiliza el mismo principio al de la manguera de nivelación, la diferencia es que se mide la línea horizontal de los niveles de agua, con un nivel de carpintero o albañil, colocado en una tabla recta y fija. La figura 9 muestra el principio. En pendientes suaves este método es muy lento, pero en pendientes fuertes es apropiado, especialmente si se trata de pequeñas caídas. (Cabal, 2014, p.23)

Figura 9.

Cálculo de la altura con nivel de carpintero



Nota. La figura muestra el diseño del cálculo de la altura con nivel de carpintero. Obtenido de Dávila, Vilar, Villanueva y Quiroz (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas* (p.39). CEDECAP.

7.4.4.3. Método del nivel de ingeniero

Si bien es cierto este método es el más preciso, pero realizarlo eleva los costos ya que lo tienen que realizar técnicos topográficos, el equipo necesario y el procedimiento lo describe Dávila *et al.*, (2010):

El nivel de ingeniero tiene una precisión de ± 1 mm; pero es caro y pesado y requiere operadores diestros. Por lo general los errores se producen en las largas series de cálculos que hay que efectuar. Debido a que es un método común, los equipos que emplean se alquilan fácilmente y a precios aceptables. Con él las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero no es apropiado para lugares escarpados o con muchos árboles. (pág.42)

7.4.4.3.1. Equipo necesario

Según Dávila *et al.*, (2010) “los equipos necesarios pueden ser nivel topográfico, trípode, mira, un machete, cuaderno y por lo menos dos personas (p.42).

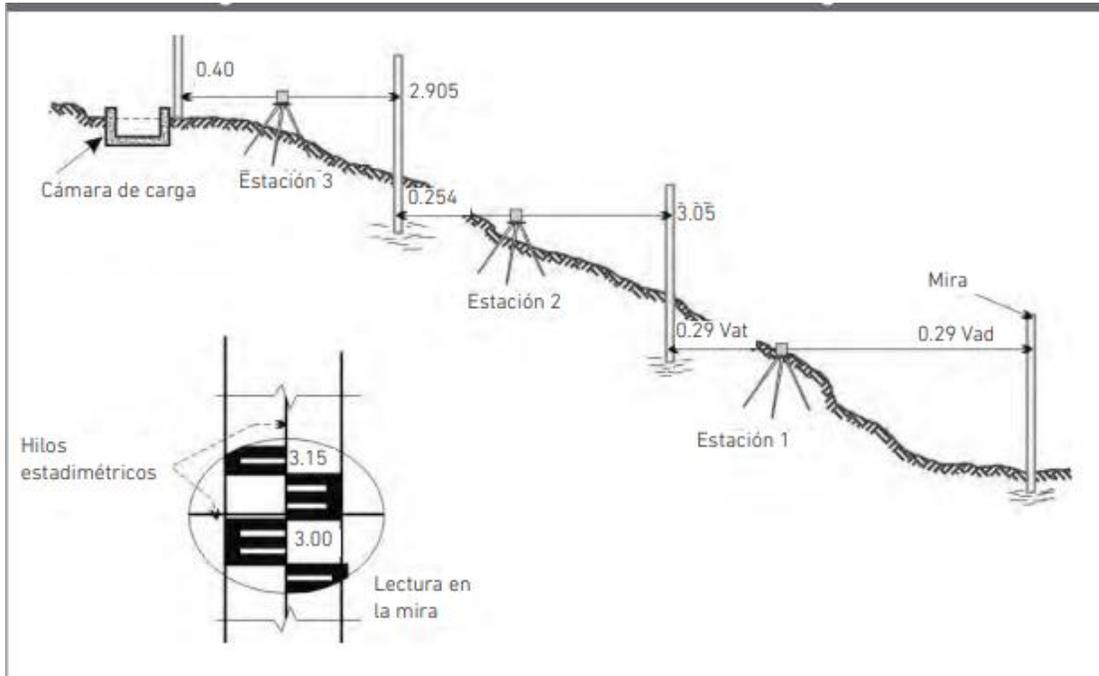
7.4.4.4. Procedimiento

- El operador colocará el nivel en un lugar, de tal forma que pueda ver al portamira en el primer punto (cámara de carga o casa de máquinas, según sea el caso), así como a un segundo punto, siguiendo la dirección del terreno.

- Si se considera iniciar la medición desde la cámara de carga, el portamira se colocará en este punto, el operador visualizará la mira y tomará nota de la lectura (Vat), en seguida el portamira se desplazará a un segundo punto y el operador, girando el anteojo del nivel visualizará la mira y registrará otra lectura (Vad).
- El operador hace un cambio de ubicación (estación), de tal forma que pueda visualizar nuevamente al portamira en el punto anterior, para lo que el portamira no se ha movido, lo que hace es girar la mira para que el operador registre una nueva lectura, ahora será Vat, luego el portamira se traslada a otro punto donde el operador registra la lectura en la mira, que es Vad.
- El procedimiento se repita hasta llegar al punto donde será ubicada la casa de máquinas Nota: el proceso se agiliza si se puede contar con 2 portamiras e igual número de miras.

Figura 10.

Cálculo de altura con nivel de ingeniero



Nota. La figura presenta la conformación del método, aunque implica un presupuesto elevado. Obtenido de Dávila, Vilar, Villanueva y Quiroz (2010) *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas* (p.53). CEDECAP. (p.44).

7.4.4.5. Método usando Software

Este método utiliza software de cómputo por ejemplo Google Earth, Palomeque *et al.*, (2020) utiliza este programa para encontrar su salto neto como lo describe a continuación:

El cálculo del salto neto se ha desarrollado utilizando el software Google Earth. Para esto se debe especificar las ubicaciones y los tramos de tubería desde el lugar de captación hasta la casa de máquinas como lo

muestra la figura 11. Aquí también se puede apreciar la ubicación de plantaciones Malima con respecto a los lugares elegidos.

A partir de la figura 11 se puede determinar el salto neto hidrológico como la resta entre la altura de captación y la altura de central hidráulica como se muestra en la ecuación. (p.35)

$$(5) \quad H_n = H_{\text{captación}} - H_{\text{casamaquinas}} =$$

Figura 11.

Cálculo de altura con software



Nota. La figura muestra el salto neto hidroeléctrico. Obtenido de Palomeque, Valdez, Jara y Reinoso (2020) *Diseño de una Mini Central Hidroeléctrica* (pág.35).

Cabe mencionar que este método como cualquier otro tiene márgenes de error por lo cual se deben comparar los resultados con otros métodos.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARÍO

RESUMEN

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL
 - 1.1. Estudios previos (recientes)
 - 1.2. Antecedentes
2. MARCO TEÓRICO
 - 2.1. Energía hidráulica.
 - 2.1.1 Aprovechamiento de la energía hidráulica.
 - 2.2 Central hidroeléctrica.
 - 2.2.1 Pequeña Central hidroeléctrica.
 - 2.2.1.1. Clasificación de PCH según potencia instalada.
 - 2.2.1.2. Clasificación de PCH en función de la forma de instalación.
 - 2.2.1.2.1. Centrales de agua fluyente.
 - 2.2.1.2.2. Centrales de pie de presa.
 - 2.2.1.2.3. Centrales integradas en canal de riego.

2.2.1.2.4. Centrales integradas en sistemas de alimentación de agua potable.

2.3. Componentes principales de la central hidroeléctrica

- 2.3.1. Presa
- 2.3.2. Desarenador
- 2.3.3. Canales
- 2.3.4. Cámara de carga
- 2.3.5. Tanque de presión
- 2.3.6. Tubería de presión
- 2.3.7. Casa de máquinas
- 2.3.8. Turbina Hidráulicas
 - 2.3.8.1. Turbina Pelton
 - 2.3.8.2. Turbina Francis
 - 2.3.8.3. Turbina Kaplan
- 2.3.9. Generador
- 2.3.10. Regulador y tablero de control
- 2.3.11. Regulador de voltaje automático AVR

2.4. Potencia eléctrica:

- 2.4.1. Potencial de la energía hidráulica
- 2.4.2. Medida del potencial hidráulico
- 2.4.3. Medida del caudal
 - 2.4.3.1. Método del recipiente
 - 2.4.3.2. Método del flotador
- 2.4.4. Medida del Salto bruto
 - 2.4.4.1. Método de manguera de nivelación
 - 2.4.4.2. Método del nivel del carpintero y reglas
 - 2.4.4.3. Método del nivel de ingeniero
 - 2.4.4.4. Método Usando software por computadora

3. Diseño de minicentral hidroeléctrica en finca de cardamomo.
 - 3.2. Evaluación del recurso.
 - 3.3. Evaluación de caudal.
 - 3.4. Evaluación de altura o nivel.
 - 3.5. Estimación de la demanda.
 - 3.6. Diseño del equipo electromecánico.
 - 3.7. Generador eléctrico.
 - 3.7.1. Selección del generador eléctrico.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

A continuación, se presentará la metodología por utilizar en la investigación, dicho de otra manera, se dará el tipo de enfoque, los alcances, las variables y por último las fases del estudio.

9.1. Características del estudio

El siguiente trabajo de investigación, se realizó una investigación de diseño no experimental, debido que no se manipularán las variables por parte del investigador, recurriendo a la investigación de campo, para el estudio hidrológico en el sitio, así como la revisión de los equipos e infraestructura del proceso de generación y obra civil.

El enfoque del estudio de la investigación es cuantitativo y los resultados que se obtendrán son variables del tipo continua, ya que se darán valores del tipo decimal, como también el paradigma que se utilizara es del tipo positivista ya que los resultados se presentarán son cuantitativos.

Además, se utilizó un estudio descriptivo que buscará especificar valores promedios del caudal, alturas, y demanda máxima de energía eléctrica como también las propiedades y características de los componentes que conforman el sistema de generación eléctrica. Y para finalizar el alcance no corroborará una hipótesis.

Las variables por analizar son las siguientes:

- Ubicación del lugar
- Altura
- Caudal
- Demanda máxima
- Potencia de la turbina
- Potencia del generador

9.2. Fases de estudio

A continuación, se describen cada una de las fases que se desarrollarán en este trabajo de investigación.

9.2.1. Fase 1: revisión bibliográfica

En esta fase se realizará una recopilación y consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, se tomarán en cuenta, libros, informes científicos, tesis para poder sustentar nuestra investigación sobre.

- Salto neto
- Caudal
- Potencia

9.2.2. Fase 2: gestión o recolección de la información

Durante el desarrollo de esta fase se realizará la visita de campo, se obtendrá toda la información sobre:

- Auditoría energética
 - Equipos electromecánicos
 - Equipos para uso domiciliario

- Estudio hidrológico
 - Salto neto
 - Caudal

Tabla 2.

Elementos fase 2

| Equipos electromecánicos | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Ítem | Descripción | Tipo de uso | Potencia (W) |
| 1 | Motor de 8 hp | continuo | 5968 |
| Total | | | |
| Equipos Domiciliares | | | |
| Ítem | Descripción | Tipo de uso | Potencia (W) |
| 1 | Refrigeradora | no continuo | 300 |
| 2 | Lavadora | no continuo | 700 |
| Total | | | 1000 |

Nota. La tabla presenta los equipos electromecánicos y domiciliars a los que se hace referencia en la fase 2. Elaboración propia, usando Excel.

9.2.3. Fase 3: análisis financiero

Durante el proceso de esta fase se realizará el análisis financiero, si es factible económicamente utilizando los indicadores financieros como lo son.

- Inversión inicial
- TIR
- VAN

- Tiempo de recuperación de la inversión
- Gastos de operación y mantenimiento

9.2.5. Fase 4: análisis y discusión de resultados

En esta fase se analizarán los resultados obtenidos y se podrá discutir y responderán las preguntas planteadas anteriormente, así como también:

- Factibilidad técnicamente
- Factibilidad financieramente

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACION

En nuestra presente investigación utilizaremos la estadística descriptiva, que su fin será tomar promedios de las medidas del estudio hidrológico, tiempos, alturas y el análisis energético de la demanda en dicho lugar.

Estos datos se trabajarán en tablas utilizando Microsoft Excel, así como también se trabajarán la TIR, VAN, en dicho programa.

Tabla 3.

Diagrama de Gantt

| Id | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Predecesoras | 2, 2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------|---|---|---|------------------|---|---|---|---|------------------|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | S | O | N | D | Semestre 1, 2022 | | | | | Semestre 2, 2022 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | S | O | N | D | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | | | | | | |
| 1 | Anteproyecto | 52 días | sáb 25/09/21 | sáb 4/12/21 | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | planteamiento del Problema y preguntas auxiliares | 6 días | sáb 25/09/21 | vie 1/10/21 | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Definición del Título, Antecedentes y Normas APA. | 6 días | lun 4/10/21 | lun 11/10/21 | 2 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Matriz de Coherencia y Objetivos | 6 días | mar 12/10/21 | mar 19/10/21 | 3 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Justificación de la investigación | 6 días | mié 20/10/21 | mié 27/10/21 | 4 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Necesidades a cubrir y esquema de solución. | 6 días | jue 28/10/21 | jue 4/11/21 | 5 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Presentación Anteproyecto Primera parte | 6 días | vie 5/11/21 | vie 12/11/21 | 6 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Plan de acción en base a Objetivos | 6 días | lun 15/11/21 | lun 22/11/21 | 7 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Propuesta de Marco Teórico | 6 días | mar 23/11/21 | mar 30/11/21 | 8 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Revisión de antiplagio | 2 días | mié 1/12/21 | jue 2/12/21 | 9 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Presentación Anteproyecto Final | 2 días | vie 3/12/21 | sáb 4/12/21 | 10 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Revisión de Tesis con el asesor | 6 días | lun 6/12/21 | lun 13/12/21 | 11 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | ELABORACIÓN DE PROTOCOLO | 52 días | sáb 15/01/22 | sáb 26/03/22 | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Elaboración del marco teórico parcial | 12 días | sáb 15/01/22 | lun 31/01/22 | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Revisión Documental | 11 días | mar 1/02/22 | mar 15/02/22 | 14 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Elaboración de protocolo de tesis Parcial | 14 días | mié 16/02/22 | sáb 5/03/22 | 15 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | Revisión Final Marco teórico | 3 días | lun 7/03/22 | mié 9/03/22 | 16 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | Revisión de protocolo con Asesor | 2 días | jue 10/03/22 | vie 11/03/22 | 17 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | Definición de la metodología | 1 día | lun 14/03/22 | lun 14/03/22 | 18 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Elaboración, Revisión de Índices y referencias. | 6 días | mar 15/03/22 | mar 22/03/22 | 19 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | Presentación de protocolo | 4 días | mié 23/03/22 | sáb 26/03/22 | 20 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN | 171 días | lun 4/04/22 | sáb 26/11/22 | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | Fase 1: Revisión Bibliográfica | 15 días | lun 4/04/22 | vie 22/04/22 | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | Fase 2: Cálculo del consumo de energía | 20 días | lun 25/04/22 | vie 20/05/22 | 23 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | Fase 3: Cálculo de la Potencia Eléctrica del Río (Caudal) | 20 días | lun 23/05/22 | vie 17/06/22 | 24 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | Fase 4: Análisis de la turbina con los datos del caudal | 20 días | lun 20/06/22 | vie 15/07/22 | 25 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | Fase 5: Selección del Generador | 20 días | lun 18/07/22 | vie 12/08/22 | 26 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | Presentación y discusión de resultados | 20 días | lun 15/08/22 | vie 9/09/22 | 27 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | Conclusiones | 5 días | lun 12/09/22 | vie 16/09/22 | 28 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | Recomendaciones | 5 días | lun 19/09/22 | vie 23/09/22 | 29 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | Apéndice | 5 días | lun 26/09/22 | vie 30/09/22 | 30 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | Anexos | 5 días | lun 3/10/22 | vie 7/10/22 | 31 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | Presentación de informe | 5 días | lun 10/10/22 | vie 14/10/22 | 32 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | Defensa de Tesis | 1 día | lun 17/10/22 | lun 17/10/22 | 33 | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | [Barra de Gantt] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota. En este diagrama se muestran los pasos por seguir para el desarrollo de la investigación. Elaboración propia, usando Microsoft Project.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio propuesto es factible ya que se cuenta con los recursos necesarios para la realización del trabajo, principalmente los permisos de dicho lugar, como también incluyendo recursos humanos, financieros, tecnológicos.

Tabla 4.

Factibilidad de estudio

| Factibilidad del estudio | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------|--------------|
| Recurso | Descripción | Costo | Valor |
| Humano | Asesor Ad Honoren | 2000 | 2000 |
| | Estudiante | 1000 | 500 |
| Financiero | Transporte | 1000 | 1000 |
| | Otros | 200 | 200 |
| Tecnológicos | Computadora | 3000 | 3000 |
| | 4 impresiones | 40 | 160 |
| Total | | | 6860 |

Nota. En la tabla se presentan los recursos necesarios para la realización de la investigación.
Elaboración propia, usando Excel.

Analizando los recursos para la investigación se considera que es factible realizar el estudio.

REFERENCIAS

- BUN-CA. (2014). *Pequeñas centrales hidroeléctricas, Guia 1 ¿Como se hace una evaluacion preliminar de una pequeña central hidroeléctrica?* BUN-CA.
- Cabal, (2014). *Guia de buenas prácticas Minicentrales hidroeléctricos*. CABAL S.A.
- Carta, J., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. (2009). *Centrales de energías renovables*. Pearson Educación, S.A.
- Castro, A. (2006). *Minicentrales hidroeléctricas*. IDAE.
- Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G., & Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalacion microcentrales hidroelectricas*. Forma e Imagen.
- ENDESA (s.f.). *Central Hidroeléctrica*.
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-hidroelectrica>
- Fariñas, J. E. (2010). *Aspetos Específicos de los Aprovechamientos Minihidroeléctricos. Aplicaciones en Canarias*.
Docplayer. <https://docplayer.es/18690881-Tema-3-aspectos-especificos-de-los-aprovechamientos-minihidroelectricos-aplicaciones-en-canarias.html>

Flores, J. (2016). *Manejo sustentable de sedimentos en embalses*. Universidad autónoma de México, México.

Flórez, R. O. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Ediciones de la U.

Garazi, B. (2017). *Estudio de viabilidad de minicentral hidroeléctrica en el embalse de Urrunaga en Legutio (Álava)*. [Tesis de Magister Universitat Politecnica de Valencia]. Archivo digital. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89868/01_Memoria.pdf?sequence=1

Guillén, E. B. (2012). *Estimación de la potencia eléctrica teórica disponible en Río Copinula, Jujutla, Ahuachapán*. Editorial Universidad Don Bosco.

Macedo, R. A. (2020). *Metodología para la Selección del Generador en una MINI*. [Tesis de licenciatura Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa], Archivo digital. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/32385314-5d38-4c33-be19-0f740f6bbef1/content>

Muguerza, D. (2015). *Microcentrales Hidroeléctricas*. McGraw-Hill

Santiana, C. G. (2016). *Estudio de Factibilidad para la Repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica de 2MW de la Empresa UCEM – CEM, planta Chimborazo*. [Tesis de Magister, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Archivo digital. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4997/1/20T00733.pdf>

Velez, R. E. (2013). *Factibilidad de sistemas de micro y mini hidroelectricas comunitarias rurales en el Azuy*. [Tesis de Magister, Universidad Cuenca]. Archivo digital <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3240>

