



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA MOPA POR MEDICIÓN DE CAUDAL CON MÉTODO ULTRASÓNICO
PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA, QUETZALTENANGO, GUATEMALA**

Daniel Eliseo Navarro Rivera

Asesorado por el M.A. Ing. Rudy Antonio García Valdez

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA MOPA POR MEDICIÓN DE CAUDAL CON MÉTODO ULTRASÓNICO
PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA, QUETZALTENANGO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DANIEL ELISEO NAVARRO RIVERA
ASESORADO POR EL ING. RUDY ANTONIO GARCÍA VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	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 DE ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA MOPA POR MEDICIÓN DE CAUDAL CON MÉTODO ULTRASÓNICO
PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA, QUETZALTENANGO, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

Daniel Eliseo Navarro Rivera



EEPFI-PP-0199-2022

Guatemala, 12 de enero 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: **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MOPA POR MEDICIÓN DE CAUDAL CON MÉTODO ULTRASONICO PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCION ENERGÉTICA, QUETZALTENGO, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Análisis de sistemas de generación y cogeneración**, presentado por el estudiante **Daniel Eliseo Navarro Rivera** carné número **200212420**, 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. Rudy Antonio García Valdez
Asesor(a)

Rudy Antonio García Valdez
Ingeniero Electricista
Col. 14,801

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



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





EEP-EIME-0199-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingeniería 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: **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MOPA POR MEDICIÓN DE CAUDAL CON MÉTODO ULTRASONICO PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCION ENERGÉTICA, QUETZALTENGO, GUATEMALA** , presentado por el estudiante universitario **Daniel Eliseo Navarro Rivera**, 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

The image shows a handwritten signature in black ink over a circular official stamp. The stamp contains the text: 'UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA', 'DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA', and 'FACULTAD DE INGENIERIA'.

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

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.204.2022

La Decana 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 Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MOPA POR MEDICIÓN DE CAUDAL CON MÉTODO ULTRASONICO PARA MAXIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA, QUETZALTENANGO, GUATEMALA**, presentado por: **Daniel Eliseo Navarro Rivera**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida y permitirme alcanzar una más de mis metas.
Mis padres	Benedicto Navarro y Rosa Rivera, por su apoyo, amor, dedicación, paciencia y esfuerzo, mi eterno agradecimiento por todas sus enseñanzas a lo largo de mi vida.
Mi esposa	Wendy Arrecis, por todo su amor y apoyo incondicional.
Mi hija	Sofia Navarro por ser mi luz, alegría, motivación y mi angelito.
Mis hermanos	Mefi-Boset y Rosa Navarro, por su apoyo y consejos incondicionalmente en esta etapa de mi vida.
Mi familia	Abuelos (q. d. e. p.), tíos, tías, y primos por el apoyo brindado a lo largo de todo este tiempo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme adquirir en sus aulas los conocimientos que me han formado a lo largo de mi carrera.
Hidroeléctrica Mopa	Por haberme permitido utilizar sus instalaciones y brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Mis amigos	Por su apoyo y compañerismo durante la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Rudy Antonio García Valdez, por su apoyo durante la realización del trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Generalidades	3
2.1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas	3
2.1.1.1. Análisis a nivel internacional.....	3
2.1.1.2. Análisis a nivel nacional.....	12
2.1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
3.1. Descripción general del problema	15
3.2. Definición del problema	15
3.3. Problemas específicos.....	15
3.4. Delimitación del problema	16
3.5. Pregunta principal de investigación	17
3.6. Preguntas complementarias de investigación	17
3.7. Localización del área o lugar en estudio.....	17
3.8. Ubicación de área en estudio	18

4.	JUSTIFICACIÓN.....	21
5.	OBJETIVOS.....	23
5.1.	Objetivo General	23
5.2.	Objetivos Específicos	23
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	25
7.	MARCO TEÓRICO	27
7.1.	Fuentes de energía	27
7.1.1.	Energía fósil	27
7.1.2.	Energía hidráulica	28
7.1.3.	Biomasa	28
7.1.4.	Energía fotovoltaica.....	29
7.1.5.	Energía eólica	29
7.1.6.	Energía geotérmica	29
7.1.7.	Energía Mareomotriz.....	30
7.2.	Centrales hidroeléctricas.....	30
7.2.2.	Clasificación de las hidroeléctricas.....	30
7.2.2.	Componentes de una central hidroeléctrica	31
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	33
9.	METODOLOGÍA	37
9.1.	Tipo de la investigación o propuesta.....	37
9.2.	Diseño de la investigación o propuesta.....	37
9.3.	Enfoque de la investigación o propuesta.....	37
9.4.	Variables	38
9.4.1.	Operacionalización de variables.....	38

9.5.	Universo y población de estudio	39
9.5.1.	Criterios de inclusión	40
9.5.2.	Criterios de exclusión	40
9.6.	Muestreo.....	40
9.7.	Hipótesis.....	42
9.8.	Métodos de recolección de datos	42
9.9.	Técnicas de recolección de datos	43
9.10.	Instrumentos de recolección de datos	43
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	45
10.1.	Límites de la investigación.....	45
10.2.	Obstáculos (riesgos y dificultades)	45
10.3.	Aspectos éticos de la investigación	46
10.4.	Autonomía	46
10.5.	Riesgo de la investigación	47
10.5.1.	Nivel 1 (sin riesgo)	47
11.	CRONOGRAMA	49
11.1.	Descripción detallada del cronograma y sus fases.....	49
11.2.	Cronograma.....	50
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	51
13.	REFERENCIAS	53
14.	APÉNDICES.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización de área de estudio	18
2.	Ubicación de área en estudio	19

TABLAS

I.	Operacionalización de variables	38
II.	Valores k y niveles de confianza	41
III.	Cronograma de ejecución	50
IV.	Costo del estudio	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
\$	Dólar estadounidense
E	Este
°	Grados
°C	Grados Celsius
Hz	Hercio
h	Horas
=	Igual que
KHz	Kilohercio
Km	Kilómetro
KW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
KV	Kilovoltio
>	Mayor que
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
<	Menor que
m	Metro
m^3	Metro cúbico
m^3/s	Metro cúbico por segundo
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
'	Pies o minutos

'	Pies o minutos
%	Porcentaje
P	Potencia
"	Pulgadas o segundos
Q	Quetzales
RPM	Revoluciones por minuto
W	Vatio
Ns	Velocidad angular o velocidad específica
V	Voltaje

GLOSARIO

Caída bruta	Altura neta medida entre cámara de carga y casa de máquinas.
Cangilón	Álabes o paletas unidos al rodete.
Casa de máquinas	Infraestructura en donde se encuentra la o las turbinas de una central hidroeléctrica.
Caudal	Cantidad de agua que pasa por un instante de tiempo.
Caudal de diseño	Caudal con el cual se dimensionan todos los equipos de la central hidroeléctrica.
Caudal instantáneo	Cantidad de agua que circula en un tiempo estipulado.
Caudal turbinado	Cantidad de agua que es utilizada para mover la turbina en un instante.
Caudalímetro	Instrumento utilizado para medir caudal.
Central hidroeléctrica	Conjunto de instalaciones industriales utilizadas para la generación de energía por medio de agua.

Cota	Número que indica la altura de un punto sobre el nivel del mar.
Curva de caudales	Gráfico en el cual se representan los posibles caudales a lo largo de un periodo de tiempo.
Desfogue	Cota más baja de un complejo hidroeléctrico, punto en donde se regresa el agua al cauce del río.
Eficiencia	Capacidad de los equipos eléctricos del uso eficiente de la energía.
Embalse	Acumulación de agua debido a una presa.
Energía cinética	Energía debida a un movimiento determinado.
Energía potencial	Energía que contiene el agua debido a la altura y es aprovechable para generar electricidad a partir de la misma.
Equipos de generación	Conjunto de máquinas utilizadas para la generación de energía eléctrica.
Flotador	Utensilio de material insumergible que se mantiene a flote.

Generador	Máquina eléctrica utilizada para generar una diferencia de potencia en sus bornes.
Inyector	Dispositivo que abre, cierra y direcciona el flujo de agua hacia los cangilones.
Medidor ultrasónico	Medidor que utiliza ultrasonido para realizar la medición del caudal.
PLC	Controlador lógico programable.
Potencia entrada	Potencia eléctrica que ingresa a un circuito o proceso.
Potencia salida	Potencia eléctrica que egresa de un circuito o proceso.
Presa	Obstáculo que tiene como objetivo elevar el nivel del agua a una cota específica.
Recurso hídrico	Agua.
Rodete	Elemento rotativo dentro de una turbina hidráulica.
Scada	Sistema de adquisición de datos.
Sensores de medición	Equipo electrónico que obtiene datos de variables medibles.

SNI	Sistema Nacional Interconectado.
Tensión	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en Voltios.
Transformador	Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico.
Turbina hidráulica	Aprovecha la energía de un fluido y la convierte en energía mecánica rotativa.
UTM	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator.
Vatio	Unidad de medida de potencia.

RESUMEN

En la presente investigación se tiene como objetivo realizar el análisis de la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa por medio de la medición del caudal turbinado instantáneo, y con ello obtener la eficiencia de la central en toda la curva de caudales turbinados, los cuales incluyen desde el 8 % al 100 % del caudal del diseño de la hidroeléctrica.

El presente estudio empieza con una base teórica donde se realizará una recopilación de estudios nacionales e internacionales con los cuales se detalle los estudios anteriores en cuanto a temas de hidroeléctricas y mediciones de caudales para análisis de eficiencia.

El problema para resolver es efectuar el análisis de la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal por método ultrasónico, para esto se utilizará sensores no intrusivos ultrasónicos para la medición de caudal de manera que no sea una medición externa para los equipos y no existan pérdidas en la producción de energía por la realización de la medición, ni por la instalación de los equipos de medición y lograr como resultado la optimización de la producción.

El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo, la información a utilizar son datos de medición de caudal, potencia, voltaje y corriente. Posteriormente de identificar las variables a analizar, serán ingresados los datos a una hoja de cálculo donde se ordenarán los datos y se presentará en tablas y gráficos estadísticos para establecer la eficiencia de los equipos en cada caudal turbinado instantáneo, los cuales se confrontarán con la gráfica de eficiencia del fabricante de los equipos.

En los factores que pueden influir en la realización del protocolo de investigación se visualiza el factor económico donde después de analizar el estimado del costo asciende aproximadamente a Q. 75,000.00 los cuales el investigador cubrirá con recursos propios con lo cual se observa una alta probabilidad de ser factible. En el factor social, no presenta ningún problema en tema social no hay personas o comunidades que influyan en la ejecución de la investigación y se cuentan con todos los permisos necesarios para realizar las mediciones y análisis necesarios para concluir con el análisis de eficiencia de la planta.

En el factor técnico se cuenta con el personal calificado para realizar la investigación y realizar la correcta ejecución de las mediciones con lo cual se observa una alta probabilidad de ser factible; en el factor ecológico no se tiene ningún parámetro negativo debido a que no se manejaran insumos que puedan afectar a la ecología ni se generan desechos para el ambiente por lo que también se observa una alta probabilidad de ser factible la realización del estudio.

Se estipulan siete meses para la realización de la investigación, como primer hito se realizará el análisis y recopilación de la información bibliográfica de los temas relacionados con el tema de investigación para completar el marco teórico, luego se procederá al análisis de la hipótesis, posteriormente se procederá a detallar la metodología a utilizar en la investigación y en seguida se procederá a la instalación de los equipos necesarios para la recolección de datos y variables que son objeto de la investigación, a partir de allí se ejecutará a la tabulación y presentación de dichos datos para consecutivamente poder realizar un correcto análisis de estos y para finalizar se realizará la discusión de los resultados obtenidos en el análisis de datos para poder realizar las propuestas de mejora y elaborar las conclusiones en la elaboración del informe final.

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente la hidroeléctrica es uno de los medios más antiguos de generación de energía eléctrica y actualmente es uno de los más utilizados debido a que es generación de energía limpia y renovable. Una central hidroeléctrica es aquella central que genera energía a partir de la energía cinética del agua, la cual convierte a energía mecánica para su posterior conversión a energía eléctrica por medio de una turbina y un generador eléctrico.

Para poder evaluar la eficiencia de un grupo turbina – generador, es necesario evaluar los parámetros que influyen en el proceso de generación de energía, entre los cuales están el salto neto y caudal turbinado, este último es el más costoso de monitorear debido a las dificultades técnicas para medirlo.

En la actualidad existe el método ultrasónico para medición de caudal en tuberías el cual es no intrusivo y utiliza la señal de dos transductores ultrasónicos que envían señal entre sí para poder medir la velocidad del agua y poder así calcular el volumen y caudal instantáneo.

Al obtener el caudal instantáneo y la potencia de salida del generador podemos calcular la eficiencia instantánea de los equipos de generación, y obtener así la curva de eficiencia en toda la curva de caudales turbinados.

En el presente protocolo de investigación en el segundo capítulo se describen los antecedentes existentes de investigaciones tanto a nivel nacional como a nivel internacional donde se formará una idea con respecto al tema de la presente investigación; en el tercer capítulo poder describir el problema a resolver y en el capítulo tercero dar una base teórica a la investigación para luego proceder al marco metodológico donde se indicarán todos los procedimientos de la investigación.

En el capítulo onceavo se da un cronograma con tiempo definido para cada actividad a realizar en la presente investigación y poder así estimar los costos de cada actividad a realizar en investigación de donde se obtiene que el costo total del estudio asciende a Q. 75,000.00. Posteriormente en el capítulo doceavo se analiza la factibilidad del estudio donde se verifica que existe una alta probabilidad de ser factible.

2. ANTECEDENTES

En el presente capítulo se describen investigaciones previas sobre la eficiencia en hidroeléctricas en el ámbito nacional e internacional, así como investigaciones sobre estudios en diseños y operaciones de hidroeléctricas.

2.1. Generalidades

La eficiencia de los equipos es influyente en el diseño de la central, que debe de ser adecuado en cuanto a la caída bruta, caudal de diseño y tipo de turbina a utilizar. A continuación, analizaremos a nivel nacional e internacional investigaciones previas sobre estos temas.

2.1.1. Análisis de resultados de investigaciones previas

Se realiza un análisis de investigaciones previas a nivel nacional e internacional para tener una generalidad de las investigaciones más importantes en cuanto a la eficiencia de las hidroeléctricas y se analizan los resultados de dichas investigaciones.

2.1.1.1. Análisis a nivel internacional

Se han recopilado las investigaciones internacionales relacionadas con el tema de hidroeléctricas, de las cuales mencionamos las más importantes a continuación.

En octubre del 2020 González (2020), esboza una investigación para la Universidad de los Andes Colombia, donde expresa lo siguiente:

Según González (2020):

A nivel mundial existen multitud de normas, estándares, guías y manuales de mejores prácticas para la medición de variables hidrométricas desarrollados por entidades internacionales o nacionales. Principalmente relevante para la medición de variables hídricas son los manuales y guías de la WMO.

Las principales variables hidrométricas de interés son los niveles de embalses y ríos, así como los caudales de estos últimos asociadas a una planta de generación hidroeléctrica. También es de interés en la operación de una hidroeléctrica poder conocer con precisión el caudal que pasa por la turbina, así como por otras estructuras de vertimiento y control. (p. 5)

Según lo indicado por González (2020), la explotación eficiente de una central hidroeléctrica y el uso adecuado del recurso hídrico dependerá de una correcta cuantificación y manejo del caudal.

Según González (2020), “las técnicas para la medición de nivel se pueden dividir en dos grupos: técnicas de registro no continuo o de registro continuo. Ahora se describirán algunas de las técnicas más comúnmente utilizadas” (p. 7).

Para González (2020):

Entre los medidores sin grabación, los más habituales corresponden a los siguientes tipos:

- Regla o mira graduada vertical o inclinada
- Sensor de cable con contrapeso
- Sensor de cadena
- Cinta eléctrica

Estos métodos requieren que se realice una lectura del instrumento, de forma manual, para conocer y registrar el nivel del agua. Por el lado de los métodos de medición continua, se utilizan diversos tipos entre los más comunes se encuentran los siguientes tipos:

- Flotador
- Sensor de burbuja
- Transductores de presión sumergibles y no sumergibles
- Sensores sin contacto: radar, ultrasónico u óptico

Estos métodos permiten el registro y transmisión de datos de manera continua. Dos tipos de sensores de registro continuo, comúnmente utilizados recientemente son los ultrasónicos o de radar.

El sensor ultrasónico está basado en la velocidad de desplazamiento de un impulso de frecuencia ultrasónica (>20 kHz), que es emitido por un transmisor situado en una estructura situada sobre el lago o el río. Cuando el impulso llega a la superficie de la masa de agua, emite un eco que es captado por el sensor. (pp. 7-8)

Para González (2020):

El tiempo T transcurrido desde el momento de la emisión del impulso y el momento de la recepción del eco por el sensor es directamente proporcional a la distancia entre el sensor y la superficie del agua, e inversamente proporcional a la velocidad del impulso en el aire.

El sensor de radar es similar al ultrasónico, aunque utiliza frecuencias altas. Presenta la ventaja de que, a altas frecuencias, la velocidad de desplazamiento del impulso no resulta afectada por la temperatura del aire. (pp. 7-8)

Por lo que de la cita anterior se puede concluir que existen dos tipos de medición las cuales son de registro continuo y de registro no continuo, de los cuales se obtienen más datos para nuestra investigación con los de tipo registro continuo.

Según González (2020):

En cuanto a los instrumentos para la medición de velocidad, se estableció que en más del 65 % de los casos se utilizan dispositivos mecánicos, los dispositivos acústicos corresponden a menos del 10 % de las mediciones. No se indicó el uso de instrumentos de hilo caliente/frío, tubos de Pitot, velocímetro Doppler láser, medidores de defección, desprendimiento de vórtices o velocímetro de imágenes de partículas.

La mayoría de los servicios hidrológicos consultados utilizan dispositivos mecánicos para más del 50 % de sus mediciones de velocidad.

Más del 25 % de los servicios utilizan dispositivos mecánicos para todas sus mediciones. El dispositivo más usado es de eje horizontal.

Los dispositivos electromagnéticos son usados por aproximadamente un tercio de los servicios consultados para realizar sus mediciones. De aquellos que usan dispositivos electromagnéticos, estos son usados en menos del 40 % de las mediciones.

Más de la mitad de los servicios consultados utilizan instrumentos acústicos Doppler. Sin embargo, estos instrumentos son usualmente utilizados para menos del 50 % de las mediciones de velocidad. Solo dos servicios usan este tipo de instrumentos para más del 70 % de sus mediciones de velocidad. La mayoría de los servicios usan instrumentación acústica Doppler para menos del 10 % de sus mediciones. (p. 14)

De lo descrito anteriormente por González (2020), se puede concluir que la instrumentación más utilizada en los servicios de medición hidrológica son dispositivos mecánicos los cuales son intrusivos en el sistema donde se realiza la medición.

Vargas (2019), en su tesis de maestría, plantea los siguiente:

Según Vargas (2020):

La situación problemática que motiva la elaboración de este estudio es el desperdicio de energía hidráulica en el Acueducto Metropolitano, el crecimiento de la facturación por consumo de energía eléctrica y el aumento de las emisiones de gases contaminantes al ambiente en el AyA busca influir en la toma de decisiones de los altos jerarcas de la Institución,

para optar por soluciones que sean técnica, financiera y ambientalmente factibles en el aprovechamiento de los excedentes de energía del Acueducto Metropolitano, con la finalidad de obtener mayor eficiencia y, por ende, rentabilidad del negocio sin perjudicar el medio ambiente.

El AyA, no está facultado legalmente para comercializar energía eléctrica, pero sí puede aprovecharla para el abastecimiento de sus sistemas operativos. El Acueducto Metropolitano, posee varios sistemas donde se puede aprovechar la energía hidráulica y convertirla en electricidad, pero lamentablemente la mayoría de estos sistemas se encuentran lejos de los sistemas de consumo de la Institución lo que imposibilita el autoabastecimiento. (p. i)

Sigue mencionando Vargas (2020):

Es por ello que se ha seleccionado el sitio Tanques de Ayarco para desarrollar el siguiente estudio, lugar donde se encuentran instalados en la actualidad, sistemas consumidores de energía, y, además, posee la capacidad de aumentar en tamaño la carga eléctrica del sitio mediante la implementación de estaciones de bombeo tipo pozos, los cuales pueden llegar a autoabastecerse de electricidad mediante la implementación de una micro central hidroeléctrica en el sitio.

Posterior al análisis técnico, es necesario iniciar la cuantificación de los costos de inversión, ahorros, ingresos y demás indicadores, correspondientes al análisis financiero. El primer escenario corresponde a la ejecución del proyecto utilizando recursos institucionales para la inversión y el segundo escenario es el mismo proyecto, pero utilizando un financiamiento reembolsable poco atractivo. Se tuvo como resultado tasas

internas de retorno de 14.64 % y 37 % respectivamente, resultando más atractivo para la inversión el segundo escenario con financiamiento.

Finalmente se menciona cual deberá ser el Plan de Acción para seguir, posterior a la conclusión de este estudio, el cual va orientado hacia la búsqueda de respaldo de la Administración Superior para la obtención de financiamientos para la implementación, seguimiento y control del proyecto. (pp. ii-iii)

De la investigación de Vargas (2020) se puede concluir que existe potencial hidroeléctrico desperdiciado debido a que no se han aprovechado los recursos existentes dentro de la red hidráulica.

Alarcón (2017) en su tesis de maestría en Ingeniería Eléctrica titulada Eficiencia energética en instalaciones eléctricas como factor de rentabilidad en centrales hidroeléctricas – caso CH Huinco – Perú, detalla lo siguiente:

Según Alarcón (2017):

Para lograr obtener un plan de eficiencia energética confiable y óptimo se tiene que gestionar un estudio de eficiencia energética que nos ayude a validar nuestro plan. El ahorro de energía sólo es posible en tanto se tenga información precisa y confiable. Para ello es necesario que se tengan las mediciones adecuadas en los lugares apropiados, el conocimiento de la utilización final de la energía eléctrica actual y el estado de conservación y operación de las instalaciones eléctricas. (pp. 22-23)

Con lo que Alarcón (2017) nos transmite que es necesario un estudio para la optimización de los recursos energéticos en la planta hidroeléctrica de Huinco.

Normalmente, los generadores hidroeléctricos son operados para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica del país durante las horas de mayor demanda, por lo que están sometidos a condiciones severas de operación.

Con el tiempo y las condiciones de operación a que son sometidos estos generadores se produce el deterioro de sus componentes, por lo que, entre otras cosas, se incrementa las pérdidas por calentamiento en el núcleo del estator por degradación del sistema aislante en los devanados del estator y rotor y por desgaste en sus rodamientos. Todos estos factores reducen la eficiencia de la máquina y su vida útil.

La eficiencia de una máquina es la relación que existe entre su potencia de salida y su potencia de entrada, bajo condiciones específicas de operación. En máquinas pequeñas, dichas potencias pueden ser medidas de manera directa con medidores de par mecánico y medidores de potencia eléctrica, sin embargo, en equipos más grandes donde la potencia mecánica no puede ser medida directamente se requiere de métodos de prueba distintos para obtener la llamada eficiencia convencional, basada en la cantidad de pérdidas que presenta la máquina.

En las normas internacionales se describen cuatro métodos principales para el cálculo de la eficiencia energética en máquinas rotatorias de gran capacidad:

- Método del motor impulsor separado
- Método de suministro de potencia eléctrica
- Método de retardación
- Método calorimétrico

El sistema desarrollado por el HE fue diseñado para realizar el cálculo de eficiencia energética en generadores hidroeléctricos con enfriamiento de agua, es modular y cuenta con los siguientes componentes principales:

- Computadora portátil
- Sensores portables para medición de flujo de agua
- Sensores portables para espesor de tubería
- Termo-anemómetros
- Sensor laser de temperatura

Las tecnologías actuales de transmisión de señales y adquisición de datos, así como los programas para procesamiento de señales, permiten desarrollar herramientas automatizadas altamente especializadas, que facilitan el trabajo de las pruebas eléctricas requeridas para el cálculo de parámetros eléctricos y eficiencia energética de los generadores.

En este sentido, el sistema incluye una serie de sensores portátiles para medición de temperatura, flujo y velocidad de aire de enfriamiento, además de sensores para medición de voltajes y corrientes.

En el estudio anteriormente indicado se observa que la eficiencia de los equipos de una central hidroeléctrica puede ir en disminución debido al deterioro por temperatura y uso extremo de los equipos.

Para lo cual contamos con varios métodos para el análisis de la eficiencia de estos, por distintos tipos de métodos y tecnologías.

Según Martínez (2015) en su tesis doctoral titulada Optimización de minicentrales hidroeléctricas dedicadas a otros usos plantea lo siguiente:

Según Martínez (2015):

La optimización de sistemas hidroeléctricos de producción de energía eléctrica es un tema ampliamente estudiado desde numerosos puntos de vista, tanto técnicos como ambientales, al tener en cuenta variables típicas del proceso de generación en centrales hidroeléctricas, como pueden ser las características de turbina, generador, acoplamientos mecánicos, caudal, altura de salto, presión, estacionalidad, entre otros. Que no se adaptan completamente a un proceso donde la generación de energía eléctrica no es el propósito principal. (p. 1)

Según el análisis de Martínez (2015) existen muchas variables y características particulares de una hidroeléctrica desde la cual se puede tener una variedad de estudios enfocados a cualquiera de esas características.

2.1.1.2. Análisis a nivel nacional

En Guatemala no se han desarrollado estudios respecto a eficiencia de una central hidroeléctrica y eficiencia de sus equipos a nivel de maestría por no que solo dejamos como referencia los internacionales.

2.1.2. Discusión de resultados de investigaciones previas

En base a las investigaciones previas a nivel internacional se puede concluir lo siguiente:

- Es de gran interés los estudios para explotar los recursos renovables de una manera eficiente y poder así explotar dichos recursos de la mejor manera para así recuperar la inversión de los equipos a corto plazo.
- Existen muchas formas de medir la eficiencia de los equipos de una central hidroeléctrica por lo que depende que variable o parámetro sea de nuestro interés para realizar el análisis.
- Es de interés el análisis de la eficiencia de los equipos de una central hidroeléctrica debido al deterioro que estos sufren por el uso en condiciones extremas de operación y de carga a los cuales son sometidos.
- Para mediciones de caudal aún existe un alto porcentaje de mediciones mecánicas debido a que no se ha dado a conocer las mediciones no intrusivas ni se han implementado en los sistemas de medición y automatización de las plantas hidroeléctricas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe el planteamiento general del problema, la delimitación, el problema y las especificaciones del estudio. Se especifica el problema principal y específico de la investigación.

3.1. Descripción general del problema

En la actualidad uno de los recursos energéticos más explotados para la generación de energía eléctrica es la energía hidroeléctrica, por lo que se hace de vital importancia la adecuada explotación de este, por lo que resulta de mayor importancia tener en óptimas condiciones los equipos para la generación de energía eléctrica.

3.2. Definición del problema

Para la medición de la eficiencia de las centrales hidroeléctricas se requieren de estudios de eficiencia en los cuales es necesaria la intervención de los equipos y componentes de la central, lo cual conlleva a realizar instalaciones y detener la producción para realizar los análisis de eficiencia a cada equipo.

3.3. Problemas específicos

Para las pequeñas centrales hidroeléctricas el costo de los estudios de análisis de eficiencia y los tiempos que se debe detener la planta para realizar

los mismos son de un alto costo, por lo que por lo regular no se acostumbra a realizar porque son pérdida para la producción anual de la planta.

Otro de los factores negativos para poder realizar un análisis de eficiencia de la central hidroeléctrica es necesario la instalación de equipos los cuales son de tipo intrusivo, lo cual afecta la operación normal de la hidroeléctrica, por lo que para instalarlos hay que hacer modificaciones a las instalaciones para poder realizar el análisis.

De esta cuenta es común entonces que no se realicen los análisis de eficiencia de las pequeñas centrales hidroeléctricas porque se incurren en ciertas pérdidas económicas por la realización de los análisis.

Lo anterior supone que el presente estudio dará una alternativa para la medición de la eficiencia de los equipos de pequeñas centrales hidroeléctricas con la utilización de sensores de ultrasonido para la medición de caudal en tiempo real y con la medición de la energía instantánea generada poder calcular la eficiencia del grupo turbina generador y poder analizar la eficiencia de los equipos en toda la curva de caudales posibles de turbinar. Al terminar el análisis se procederá a comparar con los análisis de fábrica de los equipos a modo de comparativa.

3.4. Delimitación del problema

El estudio se pretende realizar en la hidroeléctrica Mopa en la aldea Santa Marta, municipio de Flores Costa Cuca, departamento de Quetzaltenango, durante los meses junio y julio del año 2022, por medio de observación, medición, recolección y análisis de datos.

3.5. Pregunta principal de investigación

¿Qué se debe de realizar con relación a la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción energética, Quetzaltenango, Guatemala?

3.6. Preguntas complementarias de investigación

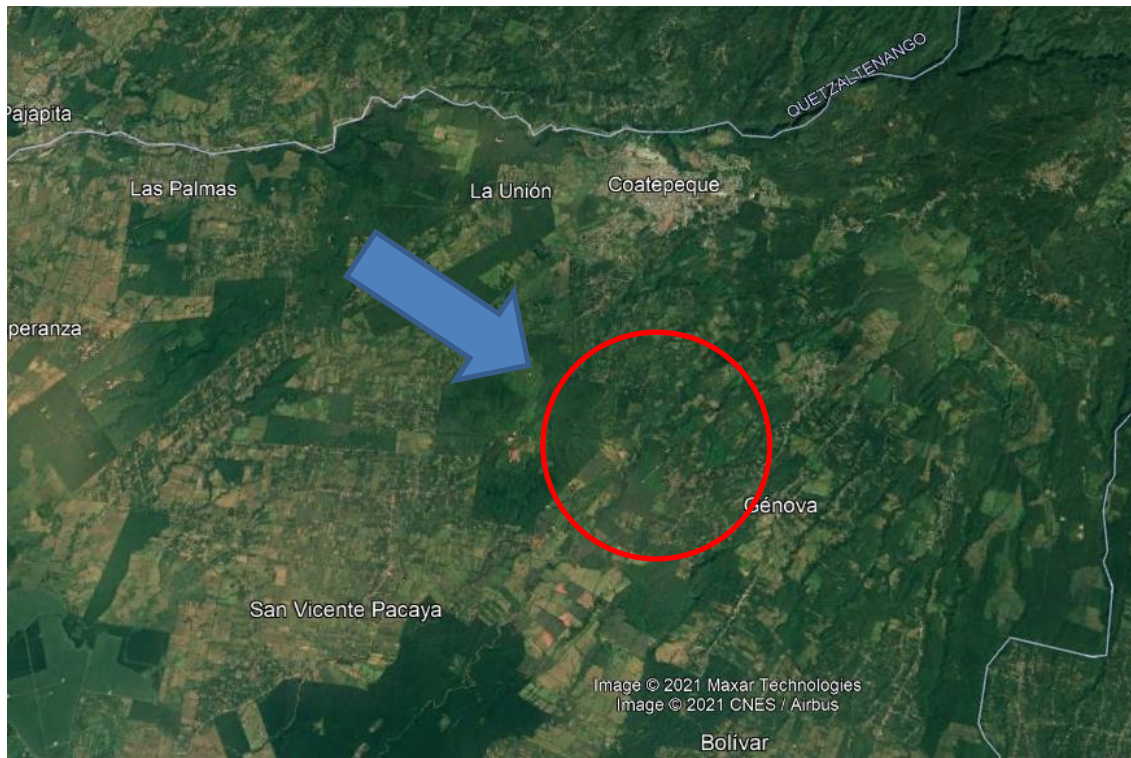
Las preguntas complementarias de la investigación planteada se muestran a continuación:

- ¿Cuáles son los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala?
- ¿Cuáles son los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala?
- ¿Cuál es la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala?

3.7. Localización del área o lugar en estudio

El área en estudio se encuentra ubicada en la aldea Santa Marta, municipio Flores Costa Cuca, departamento de Quetzaltenango, actualmente está comunicada por una carretera de terracería a través de la cual se puede acceder a la aldea.

Figura 1. **Localización de área en estudio**

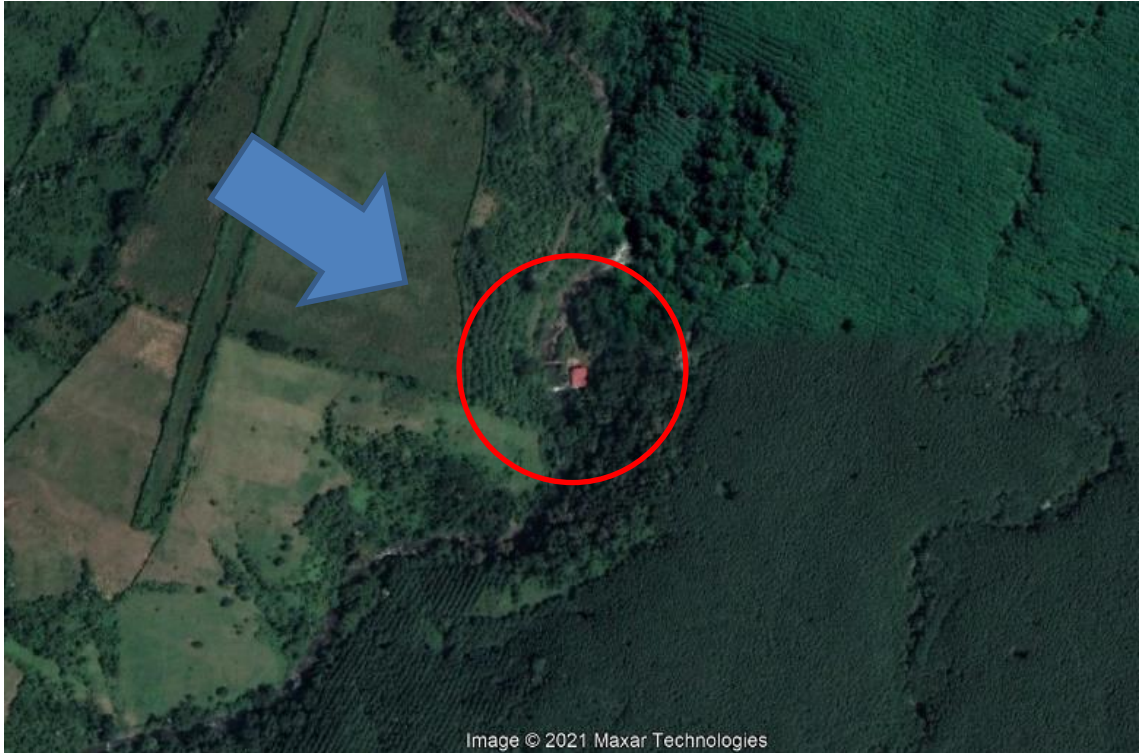


Fuente: Google Earth Pro (2021). Consultado el 10 de noviembre de 2021. Recuperado de CNES/Airbus 2021 Maxar Technologies.

3.8. Ubicación de área en estudio

La central hidroeléctrica se encuentra ubicada en la aldea Santa Marta, municipio Flores Costa Cuca, departamento Quetzaltenango, se encuentra a una altura de 232 metros sobre el nivel del mar, con una latitud $14^{\circ}37'35''$ norte y una longitud de $90^{\circ}52'31''$ oeste.

Figura 2. **Ubicación de área en estudio**



Fuente: Google Earth Pro (2021). Consultado el 19 de octubre de 2021. Recuperado de CNES/Airbus 2021 Maxar Technologies.

4. JUSTIFICACIÓN

La generación hidroeléctrica es la fuente de energía que más aporta a la matriz energética del país, por lo que es importante aprovechar dicho recurso de manera eficaz y es de suma importancia el análisis de la eficiencia de los equipos de generación para poder así maximizar la operación de las centrales.

Actualmente para medir la eficiencia de una central hidroeléctrica es necesario la instalación de equipos intrusivos lo cual provoca pérdidas en la operación de la central por tiempos perdidos al detener la planta para instalarlos, así mismo las modificaciones que se realizan a los equipos e instalaciones no son reversibles por lo que muchas pequeñas centrales hidroeléctricas no realizan el análisis hasta no tener indicios de pérdidas significativas en la eficiencia de los equipos, tiempo que en muchas ocasiones ya es demasiado tarde para tomar acciones correctivas y evitar daños en los mismos.

En el presente protocolo de investigación se plantea realizar el análisis de la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico. Este estudio a diferencia de otros estudios existentes se diseña a manera de no interferir en la operación normal de la central tanto en la instalación de equipos de medición como en la toma de datos por lo que no afecta en la producción energética, los equipos son de tipo no intrusivo por lo que todos los equipos de instrumentación para las mediciones pueden ser instalados sin detener la planta.

También tiene la ventaja de ser un método de bajo costo en relación con otros métodos de medición por lo que es una alternativa para realizar el análisis de eficiencia sin afectar significativamente el flujo de caja.

A diferencia de otros estudios este análisis de eficiencia es de tipo no intrusivo por lo que no hay interferencia en la operación normal de la planta, se puede realizar en cualquier momento el análisis o en el momento de detectar variaciones en la producción de energía.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el análisis de la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción energética, Quetzaltenango, Guatemala.

5.2. Objetivos específicos

- Analizar cuáles son los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala.
- Identificar cuáles son los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala.
- Determinar cuál es la eficiencia con un medidor de caudal ultrasónico de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se debe de poder instalar los equipos de medición de caudal con ultrasonido para poder medir en tiempo real el consumo de agua de la turbina, así como también la medición de todos los parámetros eléctricos para poder calcular la potencia de la central en relación con su consumo de agua. Esto sin detener la operación normal de la central para no incurrir en costos por falta de operación.

La importancia de la medición de la eficiencia de los equipos se debe a que se facilita la gestión eficiente de los recursos hídricos y se obtienen mejores resultados en la generación de energía eléctrica. Al obtener la curva de eficiencia en todos los caudales posibles de turbinar se puede tomar decisiones sobre la forma de operar la turbina para optimizar la producción de la energía, a diferencia de otros métodos se puede analizar el consumo de agua a distintas potencias instantáneamente y poder utilizar mejor el recurso para aumentar la producción de energía.

7. MARCO TEÓRICO

Este capítulo está dirigido a presentar la base teórica para dar a conocer el fundamento del conocimiento en materia de centrales hidroeléctricas y medición de eficiencia de estas.

7.1. Fuentes de energía

Las distintas fuentes de energía que encontramos pueden ser clasificadas en dos grupos las cuales son renovables y no renovables. Estas se clasifican por el tipo de recurso, si es una fuente que es permanente e inagotable se dice que es renovable y si es temporal y agotable se le llama no renovable.

7.1.1. Energía fósil

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar.

En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno y acción de la temperatura, la presión y determinadas bacterias de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía. (ECURED, 2021, párr. 13-14)

7.1.2. Energía hidráulica

Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona, pero para la que se necesita construir las necesarias infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas. (ECURED, 2021, párr. 18)

7.1.3. Biomasa

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos.

La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado. (ECURED, 2021, párr. 20-21)

7.1.4. Energía fotovoltaica

Las diferentes tecnologías fotovoltaicas se adaptan para sacar el máximo rendimiento posible de la energía que recibimos del sol. De esta forma por ejemplo los sistemas de concentración solar fotovoltaica (CPV por sus siglas en inglés) utiliza la radiación directa con receptores activos para maximizar la producción de energía y conseguir así un coste menor por kWh producido. (ECURED, 2021, párr. 25)

7.1.5. Energía eólica

Un parque eólico es la instalación integrada de un conjunto de aerogeneradores interconectados eléctricamente. Los aerogeneradores son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que, básicamente, son una evolución de los tradicionales molinos de viento. Como tales son máquinas rotativas que suelen tener tres aspas, de unos 20-25 metros, unidas a un eje.

El elemento de captación o rotor que está unido a este eje capta la energía del viento. El movimiento de las aspas o paletas, accionadas por el viento, activa un generador eléctrico que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica. (ECURED, 2021, párr. 30-31)

7.1.6. Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el ser humano mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre.

En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico. Geotérmico viene del griego geo, Tierra; y de thermos, calor; literalmente calor de la Tierra. (ECURED, 2021, párr. 37-39)

7.1.7. Mareomotriz

El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimenta las casas, el transporte y la industria. (ECURED, 2021, párr. 37)

7.2. Centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es una planta industrial la cual utiliza la energía cinética del agua para convertir por medio de turbinas hidráulicas dicha energía en movimiento cinético de un eje, el cual conectado a un generador produce la energía eléctrica.

7.2.1. Clasificación de las hidroeléctricas

Las hidroeléctricas se pueden clasificar de distintas maneras, por su obra de toma, por su potencia, por el tipo de turbina, por el uso de agua. Las más comunes y menos dañinas al ambiente son las de filo de agua. Estas sólo toman el agua para turbinar y la devuelven instantáneamente, no almacenan el agua.

Para evaluar una hidroeléctrica se toma en cuenta el caudal; tipo de turbina por nivel de caída; hidrología, topografía, estudio de suelos. Todos estos parámetros, permiten definir tanto el dimensionamiento geométrico como de producción de energía.

7.2.2. Componentes de una central hidroeléctrica

Para Beltrán *et. al.* (2018):

La toma de agua o captación es el conjunto de estructuras encargada de desviar parte del agua del cauce del río y su diseño debe estar enfocado en minimizar las pérdidas de carga. Generalmente la toma dispone de una reja que impide que objetos grandes como ramas de árboles, o desechos entren al canal.

El desarenador es la obra civil que permite realizar la separación de residuos sólidos y demás sedimentos presentes en el agua, los cuales se depositan en el fondo de la estructura gracias a la disminución de la velocidad del agua, este proceso permite mantener constante la sección en el sistema de conducción y evita desgaste prematuro de las turbinas.

La cámara de carga es otra obra civil que conecta el canal de conducción con la tubería forzada, ocasionalmente se utiliza como depósito final de regulación, aunque generalmente solo tiene capacidad de suministrar el volumen requerido para el arranque de la turbina. (p. 15)

Según Beltrán *et. al.* (2018):

La tubería de presión tiene como función transportar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina, debe estar diseñada para soportar la presión que produce la masa de agua, así como la presión generada por un golpe de ariete en caso de un paro de emergencia de la central.

Los parámetros principales de selección del material de la tubería son los costos de mantenimiento, el espesor de pared, las pérdidas ocasionadas por la fricción y el tipo de anclaje. Para la ubicación de la tubería se deben identificar lugares geológicamente estables y que optimicen la trayectoria de ésta, se busca minimizar las pérdidas en la conducción del agua.

La casa de máquinas es una obra civil que tiene como principal función albergar y proteger los equipos electromecánicos y los elementos de regulación, control y protección de la central. (pp. 15-16)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Fuentes de energía

1.1.1. Energía fósil

1.1.2. Energía hidráulica

1.1.3. Biomasa

1.1.4. Energía fotovoltaica

1.1.5. Energía eólica

1.1.6. Energía geotérmica

1.1.7. Energía mareomotriz

1.2. Centrales hidroeléctricas

1.2.1. Clasificación de las hidroeléctricas

1.2.2. Componentes de una central hidroeléctrica

1.2.3. Equipos de una central hidroeléctrica

1.3. Métodos de medición de caudal

- 1.3.1. Con molinete
- 1.3.2. Por flotador
- 1.3.3. Por dilución
- 1.3.4. Por bote móvil
- 1.3.5. Por ultrasónico
- 1.3.6. Electromagnético
- 1.4. Pruebas de eficiencia aplicadas a centrales hidroeléctricas

2. ESTUDIO TÉCNICO

- 2.1. Descripción del área en estudio
- 2.2. Visión del área en estudio
- 2.3. Organización del talento humano en el área en estudio
- 2.4. Áreas de atención del área en estudio
- 2.5. Recursos físicos y tecnológicos del área en estudio
 - 2.5.1. Recursos físicos del área en estudio
 - 2.5.2. Recursos tecnológicos del área en estudio
- 2.6. Estudio de mercado del área de estudio
 - 2.6.1. Capacidad
 - 2.6.2. Demanda
 - 2.6.3. Infraestructura del área en estudio

3. COSTOS APROXIMADOS Y ANÁLISIS FINANCIERO

- 3.1. Costo del estudio
- 3.2. Presupuesto de mejora
- 3.3. Análisis financiero
- 3.4. Propuesta económica del proyecto
- 3.5. Discusión de resultados

4. EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE LA PROPUESTA

- 4.1. Factibilidad técnica de la propuesta
- 4.2. Factibilidad económica de la propuesta
- 4.3. Factibilidad social de la propuesta
- 4.4. Factibilidad ecológica de la propuesta

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

En este capítulo se indican los procedimientos a seguir con la finalidad de lograr cumplir los objetivos planteados de forma válida y precisa, se abordan el tipo, diseño y enfoque de la investigación o propuesta, se definen las variables y su operacionalización, se delimita la población en estudio, muestreo, hipótesis, las técnicas de recolección de datos, instrumentos, procesamiento y análisis de datos, límites de la investigación, obstáculos, descripción de aspectos éticos de la investigación, autonomía y categoría de riesgo.

9.1. Tipo de la investigación o propuesta

El tipo de investigación es cuantitativa descriptiva.

9.2. Diseño de la investigación o propuesta

El objetivo de esta investigación será analizar la eficiencia de los equipos de la central hidroeléctrica Mopa y para ello usar un medidor de caudal ultrasónico para la medición del caudal turbinado por lo que se varía el caudal para medir la eficiencia, por lo tanto, se define como un diseño no experimental.

9.3. Enfoque de la investigación o propuesta

El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo, la información a utilizar son datos de medición de caudal, potencia, voltaje y corriente, así también

se considera la potencia de entrada y salida, datos obtenidos del scada de operación de los equipos de generación y sensores de medición.

9.4. Variables

Las variables estudiadas durante el proceso de esta investigación fueron: caudal (independiente) y potencia de salida (dependiente), con el fin de obtener resultados para el análisis de la investigación las definiciones pueden observarse en la tabla I.

9.4.1. Operacionalización de variables

En esta sección se desarrollan las variables a utilizar y su operacionalización con el fin de identificar sus dimensiones e indicadores.

Tabla I. Operacionalización de variables

Problema	Variable	Definición	Dimensión	Indicador
1. No se ha analizado la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción, Quetzaltenango, Guatemala.	Eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa	La eficiencia de una central se mide en la relación que hay entre la potencia de entrada y su potencia de salida, operando en condiciones normales.	Porcentaje $E = P_{out}/P_{in}$	%

Continuación tabla I.

1. No se ha analizado cuáles son los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala.	Parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa	Los parámetros que influyen en la operación de una central hidroeléctrica los cuales puede influir en la pérdida de energía en el proceso de generación de la energía eléctrica	Potencia = kW Gravedad = m/S' Altura Neta = m Caudal= m ³ /s	Kw generados
2. No se ha identificado cuáles son los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala	Beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa	Son las ventajas de utilizar un medidor de caudal ultrasónico para la medición del consumo de agua en la potencia de entrada de la central hidroeléctrica Mopa.	No aplica	Beneficios

Fuente: Navarro (2021). *Operación de variables.*

9.5. Universo y población de estudio

Para la realización de la investigación se utiliza como universo la curva de potencia de la planta hidroeléctrica Mopa de 0 % al 100 % del caudal posible de turbinar.

9.5.1. Criterios de inclusión

- Todos los caudales que son posibles utilizar para generar energía eléctrica de manera segura con los equipos de la central hidroeléctrica Mopa.
- Todos los caudales posibles de turbinar en la estación del año que se realizará el estudio.

9.5.2. Criterios de exclusión

- Parámetros que no incidan en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa.
- Caudales arriba de la capacidad de generación de la central hidroeléctrica Mopa.
- Caudales por debajo del 8 % de la potencia de diseño de la central hidroeléctrica Mopa.

9.6. Muestreo

En la central hidroeléctrica Mopa se puede medir del 8 % al 100 % del caudal turbinado para la medición de la potencia de entrada y salida de los equipos de generación de la hidroeléctrica. Se pueden medir por periodos de 15 minutos de generación para la estabilización de los parámetros que influyen en la generación eléctrica y el cálculo de la eficiencia de estos.

Se tomó un error de 1 % y una confianza de 90 % y un porcentaje de caudales del 100 % de la gama de caudal posible por turbinar y un 92 % de caudal posible de turbinar.

Fórmula de muestreo:

$$n = \frac{k^2 p q N}{e^2 (N - 1) + k^2 p q} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

n: tamaño muestra a determinar

p: variabilidad positiva = (0.80)

q: variabilidad negativa = (0.20)

N: tamaño de la población = (201)

e: es el error muestral que se considera = (0.05)

k: constante de nivel de confianza que indica la probabilidad que los resultados del estudio sean ciertos o no. Los valores de k que más se utilizan y sus respectivos niveles de confianza son:

Tabla II. **Valores k y niveles de confianza**

Nivel de Confianza	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	97.5 %	99 %
Valores de k	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2.24	2.58

Fuente: Hernández (2012). *Valores k y niveles de confianza.*

$$n = \frac{(1.96)^2(0.80)(0.20)(201)}{(0.052)(201 - 1) + (1.962)(0.80)(0.2)} = 111$$

La muestra fue la siguiente:

- Población de caudal: 92 %
- Muestra de caudal: 100 %
- Mínimo de caudal aceptado: 8 %
- Población de potencia: 1000 kW
- Muestra de potencia: 100 %
- Mínimo de potencia aceptada: 70 kW

9.7. Hipótesis

- HO: la eficiencia de los equipos de la central hidroeléctrica Mopa se encuentran dentro del rango de eficiencias mayor del 80 % según la curva de eficiencias del fabricante.
- HI: la eficiencia de los equipos de la central hidroeléctrica Mopa no se encuentran dentro del rango de eficiencias mayor del 80 % según la curva de eficiencias del fabricante.

9.8. Métodos de recolección de datos

En esta investigación el método de recolección de datos a utilizar es la síntesis de observación.

9.9. Técnicas de recolección de datos

La técnica por utilizar es la observación ordinaria, al realizar la toma correcta de datos obtenidos a través del trabajo de campo de la investigación, la medición de los parámetros para el cálculo de la eficiencia en toda la curva de caudales posibles de turbinar.

9.10. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento para utilizar para la recolección de datos es una guía de observación para la ordenación lógica de las ideas, sintetizar información fundamental para el desarrollo de la investigación y toma de datos. Además de la recopilación de datos de medición de los sensores de caudal y medidores de potencia los cuales influyen en la eficiencia de los equipos y comparación con la curva de eficiencia de fábrica de los mismos para la evaluación del rendimiento.

Para medir caudal se utilizará un medidor ultrasónico modelo *Dynasonic Hybrid Ultrasonic Flow meters* para obtener y guardar los datos instantáneos de los sensores de caudal en la tubería y poder obtener datos instantáneos del consumo de agua de la central hidroeléctrica, al mismo tiempo se utilizarán voltímetros y amperímetros en cada fase de los bornes del generador para calcular la potencia generada instantáneamente con cada caudal instantáneo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de identificar las variables a analizar, con la obtención de los datos cuantificables, serán ingresados los datos a Excel para presentar los datos y resultados en tablas y gráficas para establecer la eficiencia de los equipos en cada caudal turbinado.

Al contar con las tablas y gráficas se analizará la curva de eficiencia para comparar los resultados obtenidos con la gráfica de eficiencia del fabricante de los equipos.

10.1. Límites de la investigación

La investigación se ve limitada a la potencia generada de la central hidroeléctrica Mopa y a la curva de caudales posibles por turbinar, tanto por la estación del año como por la operación segura de los equipos.

Se limita al 100 % del caudal de diseño como límite superior porque en caudales superiores se pone en riesgo la operación de la central, en caudal mínimo se limita a caudal de 8 % del caudal de diseño debido a que es el caudal mínimo que se puede operar los equipos de manera segura sin que se dañen.

10.2. Obstáculos (riesgos y dificultades)

Se analizan los obstáculos y riesgos para realizar la investigación y uno de ellos es lograr generar en toda la curva de caudales posibles por tema de tener

el caudal suficiente para turbinar toda la curva de generación de la turbina. Aunado a esto el tiempo que se logre mantener el caudal estable para turbinar, por lo que es deseable hacer las mediciones en inicio de invierno.

Otra de las dificultades es la evolución de la pandemia del coronavirus COVID-19 debido a que pueden existir restricciones de parte del Gobierno para tener libre movilidad para realizar la investigación.

En el acceso a la hidroeléctrica también se puede tener la dificultad por bloqueos debido a trabajos en la carretera de las aldeas cercanas o de protestas y bloqueos que suceden eventualmente en puntos clave de la carretera hacia Coatepeque, Quetzaltenango.

Otro riesgo para considerar es la falta de disponibilidad del equipo de medición de caudal por ultrasonido porque no se cuenta con equipo propio por el alto costo, por lo que es necesario la renta del equipo y se depende de la disponibilidad del equipo en la empresa que brinda el servicio.

10.3. Aspectos éticos de la investigación

No hay aspectos éticos que comprometan la presente investigación.

10.4. Autonomía

Para la realización del presente estudio, se considera un estudio no experimental y la recolección de datos es de forma electrónica y con datos de scada, por lo que no es necesaria la participación de personal externo durante la realización de la investigación.

10.5. Riesgo de la investigación

Dado que la recolección de datos para el presente estudio se llevará a cabo mediante la realización de toma de datos a parámetros técnicos (considerada una técnica observacional) se clasifica en un nivel 1 de riesgo.

10.5.1. Nivel 1 (sin riesgo)

Comprende los estudios que utilizan técnicas observacionales, con las que no se realiza ninguna intervención o modificación intervención con las variables fisiológicas, psicológicas o sociales de las personas que participan de dicho estudio, por ejemplo, encuestas, cuestionarios, entrevistas, revisión de expedientes clínicos y otros documentos, que no invadan la intimidad de la persona.

11. CRONOGRAMA

El presente capítulo se presenta la organización cronológica del proceso de la investigación, organizado por días, con las fechas previstas de comienzo y finalización para la investigación y presentación del informe final.

11.1. Descripción detallada del cronograma y sus fases

Como primer hito se realizará el análisis y recopilación de la información bibliográfica de los temas relacionados con el tema de investigación para la realización del marco teórico, se estima un aproximado de 5 días para la realización de este. Luego se procederá al análisis de la hipótesis, que cumpla con los requerimientos de la investigación y a una revisión del marco teórico para asegurar que cubra con las bases teóricas para poder realizar la investigación.

Posteriormente se procederá a detallar la metodología a utilizar en la investigación para poder llevar a cabo de manera satisfactoria la investigación y subsiguientemente se procederá a la instalación de los equipos necesarios para la recolección de datos y variables que son objeto de la investigación. Luego se ejecutará la tabulación y presentación de dichos datos para consecutivamente poder realizar un correcto análisis de estos.

Para finalizar se realizará la discusión de los resultados obtenidos en el análisis de datos para poder realizar las propuestas de mejora y elaborar las conclusiones a las cuales se llegan después de realizar la investigación, las cuales se plasmarán como último hito en la elaboración del informe final.

11.2. Cronograma

Se indica por hitos y fechas para dar el seguimiento correspondiente del cumplimiento de cada hito y se logre culminar satisfactoriamente la investigación. En la siguiente tabla se detalla el cronograma con cada hito y su respectiva fecha estipulada de inicio y finalización, en total se estipulan 7 meses para la elaboración completa de la investigación.

Tabla III. Cronograma de ejecución

No	Descripción	Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Análisis y recopilación de fuentes de información para marco teórico	■																															
2	Análisis de hipótesis	■																															
3	Revisión del marco teórico		■	■	■	■																											
4	Metodología						■																										
5	Revisión de asesor									■	■																						
6	Instalación de equipos para medición											■	■																				
7	Recolección de datos													■	■	■	■																
8	Presentación y análisis de datos																	■	■	■	■												
9	Discusión de resultados																			■	■												
10	Propuestas de mejora																				■												
11	Elaboración de conclusiones																							■	■								
12	Elaboración de informe final																											■	■	■	■		

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se han analizado todos los factores que puedan influir en llevar a cabo la ejecución del proyecto de investigación y los factores influyentes son económicos, sociales, técnicos y ecológicos.

En la siguiente tabla se enumeran los costos que se estiman para la ejecución de la investigación, se toman en cuenta los recursos humanos, físicos, materiales y financieros necesarios para la correcta ejecución de esta.

Tabla IV. **Costos del estudio**

	Materiales	Presupuesto
Humano	Investigador	Q. 30,000.00
	Asesor	Q. 4,000.00
	Ayudante	Q. 375.00
Físicos	Oficina	Q. 5,625.00
Materiales	1 computadora personal	Q. 4,500.00
	Cámara Fotográfica	Q. 1,500.00
	1 impresora con sistema de tinta continúa	Q. 600.00
	Alquiler de medidor Dynasonic Hybrid Ultrasonic Flow meters	Q. 8,000.00
	Alimentación y hospedaje	Q. 7,500.00
	Transporte	Q. 3,000.00
	3 servicios de telefonía móvil e internet	Q. 3,600.00
	Gastos imprevistos 10 %	Q. 6,300.00
Financieros	Financiado por el investigador	
	TOTAL	Q. 75,000.00

Fuente: elaboración propia.

Se calcula que el costo total de la investigación será de Q. 75,000.00, de donde los gastos más significativos en cuanto a montos están el costo del investigador, el alquiler del equipo de medición de caudal por ultrasonido y el costo de viáticos para realizar el estudio, por lo que hay que prestarles mayor interés cuando se ejecute la investigación.

En el factor económico el investigador cubrirá todos los costos necesarios para la realización de la investigación, en la tabla III se ha detallado un estimado en el cual se visualiza de factibilidad alta para el investigador cubrir y poder realizar la investigación exitosamente.

En el factor social se visualiza una factibilidad alta, no se presenta ningún problema en tema social no hay personas o comunidades que influyan en la ejecución de la investigación, se realizará en la planta hidroeléctrica Mopa donde se cuentan con los permisos necesarios para realizar las mediciones y análisis necesarios para concluir con el análisis de eficiencia de la planta.

Se considera que en el factor técnico existe una factibilidad alta, se cuenta con el apoyo del personal de la hidroeléctrica Mopa, investigador y el asesor quienes en conjunto aportan la correcta ejecución de la investigación. Aunado a esto se cuentan con todos los permisos para poder maniobrar la planta para realizar las mediciones necesarias y los equipos para obtenerlas.

En el factor ecológico no se tiene ningún inconveniente debido a que no se manejan insumos que puedan afectar a la ecología ni se generan desechos en cantidades que sean perceptibles para el ambiente, ni se realizarán actividades que impacten negativamente.

13. REFERENCIAS

1. Alarcón, N. A. (2017). *Eficiencia energética en instalaciones eléctricas como factor de rentabilidad en Centrales Hidroeléctricas-Caso C.H* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Callao, Perú.
2. Andrade, J. (2019). *Estudio para el diseño de un sistema de gestión de energía eléctrica bajo criterios de eficiencia energética en la Central Hidroeléctrica San Francisco de CHEC* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76681/1053781926.2019.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.
3. Beltrán, A., Gracia-León, H., Rodríguez-Urrego, D. y Rodríguez-Urrego, L. (julio, 2018). Diseño y cálculo de una central híbrida solar-hidráulica en Gran Canaria. *Dyna*, 85(206), 250-257. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/70573/67752>.
4. Castañeda, A (2017). *Estudio de prefactibilidad para la construcción de una pequeña central hidroeléctrica ubicada en la cuenca del río Teusaca - vereda San Rafael - sector La Toga - La Calera – Cundinamarca* (Tesis de maestría). Universidad

Libre, Bogotá. Recuperado de
<https://hdl.handle.net/10901/10444>.

5. Chávarry, H. D. (2019). *Eficiencia Energética como factor de rentabilidad en las instalaciones de la Central Hidroeléctrica Callahuanca Lima-Perú* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8016/BC-4359%20CHAVARRY%20OTERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
6. Consejo Nacional de Operación (2020). *Medición de variables hídricas asociadas a plantas de generación hidroeléctricas*. Colombia: Autor.
7. EcuRed (13 de febrero, 2021) *Energía renovable*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://www.ecured.cu/Energ%C3%ADa_renovable.
8. Herrera, N. D. (2017). *Mejora de la eficiencia de una central hidroeléctrica mediante la optimización numérica del desempeño del tubo de aspiración modificando su geometría* (Tesis de doctorado). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Recuperado de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/311/FIM-D-2017-0243.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

9. Martínez, E. (2015). *Optimización de minicentrales hidroeléctricas dedicadas a otros usos* (Tesis de licenciatura). Universidad de la Rioja, España.
10. Ortiz, C. (2017). *Comparación del desempeño de una turbina Francis y una turbina de flujo cruzado* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64134>.
11. Peña, L. y Fariñas, E. Y. (julio, 2020). Mejoras en la eficiencia energética de las mini-hidroeléctricas aisladas mediante la regulación combinada flujo-carga lastre. *Ingeniería Energética*, 41(e1511), 1-11. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329164251003>.
12. Polanco, J. A., Ramírez-Atehortúa, F. H., Montes-Gómez, L. F., Botero-Hernández, B. A. y Barco, M. O. (abril, 2020). Effect of sediment management decision on a hydropower plant value. *DYNA*, 87(213), 232-240. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49664596030>.
13. Ponce Orellana, D.M. (2016) *Gestión de mantenimiento para centrales hidroeléctricas: el caso de la Central Hidroeléctrica Minas – San Francisco de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP – Unidad de Negocio Enerjubones* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6146>.

14. Sarasúa, J. I. (2009). *Control de minicentrales hidroeléctricas fluyentes: Modelado y estabilidad*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/1568/1/JOSE_IGNACIO_SARASUA_MORENO.pdf.
15. Terneus-Páez, F. y Jiménez-Mendoza, S. (enero, 2019). Nexo agua – energía: análisis del flujo hídrico del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair. *Revista de ciencia y tecnología*, (21), 53-62. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505557450007>.
16. Vargas, D. (2019). *Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados* (Tesis de licenciatura). Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10884/estudio_preactibilidad_aprovechamiento_energetico_mediante_sistemas_micro_generacion_hidroelectrica.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
17. Zamora, M. Á. (2019). *Eficiencia de micro central hidroeléctrica relativa al dimensionamiento geométrico de la turbina*. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Preguntas de investigación	Metodología	Fase Final
<p>1. Problema principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se ha analizado la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción energética, Quetzaltenango, Guatemala. 	<p>1. Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar el análisis de la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción energética, Quetzaltenango, Guatemala. 	<p>1. Pregunta principal de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Qué se debe de realizar con relación a la eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción energética, Quetzaltenango, Guatemala? 	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de Investigación: Cuantitativa descriptiva Diseño de Investigación: no experimental Enfoque Cuantitativo Variables Independientes: Caudal. Variable dependiente: Potencia de Salida Universo y población de estudio: del 0 % al 100 % caudal Muestra: del 8 % al 100 % caudal Método de recolección de datos: medidores de los parámetros de caudal, voltaje, corriente y potencia de salida en bornes de generador. 	<p>1. Conclusión General</p> <ul style="list-style-type: none"> La eficiencia en la central hidroeléctrica Mopa por medición de caudal con método ultrasónico para maximizar la producción energética, Quetzaltenango, Guatemala es...
<p>2. Problemas Secundarios</p> <ul style="list-style-type: none"> No se ha analizado cuáles son los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala. 	<p>2. Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Analizar cuáles son los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala. 	<p>2. Preguntas complementarias de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala? 	<ul style="list-style-type: none"> Muestra: del 8 % al 100 % caudal Método de recolección de datos: medidores de los parámetros de caudal, voltaje, corriente y potencia de salida en bornes de generador. 	<p>2. Conclusiones Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Los parámetros que influyen en la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala son...

Continuación apéndice 1.

<ul style="list-style-type: none"> • No se ha identificado cuáles son los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar cuáles son los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala? 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica: Mixta de recolección de datos • Instrumentos la recolección de datos: Guía de observación y fichaje de trabajo bibliográfico, así como uso de medidor ultrasónico de caudal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los beneficios de la utilización de un medidor de caudal ultrasónico en la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala, son...
<ul style="list-style-type: none"> • No se ha determinado cuál es la eficiencia al utilizar un medidor de caudal ultrasónico de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar cuál es la eficiencia al utilizar un medidor de caudal ultrasónico de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la eficiencia de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala? 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento y análisis de datos: aplicar métodos de correlación y modelos. • Límites: la curva de caudales posibles por turbinar. • Obstáculos: Lograr generar en toda la curva de caudales posibles • Aspectos éticos: ninguno • Autonomía: estudio no experimental y la recolección de datos es de forma electrónica y con datos de secada, por lo que no es necesaria la participación de personal externo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La eficiencia al utilizar un medidor de caudal ultrasónico de la central hidroeléctrica Mopa, Quetzaltenango, Guatemala, es...
<hr/>				
<p>3. Hipótesis</p>				
<ul style="list-style-type: none"> • Positiva: La eficiencia de los equipos de la central hidroeléctrica Mopa se encuentran dentro del rango de eficiencias mayor del 80 % según la curva de eficiencias del fabricante. • Negativa: La eficiencia de los equipos de la central hidroeléctrica Mopa no se encuentran dentro del rango de eficiencias mayor del 80% según la curva de eficiencias del fabricante. 				

Fuente: elaboración propia.