



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN EFICIENTE DEL
RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO EN GUATEMALA**

Josué Ottoniel Veliz Morales

Asesorado por el Mtro. Ing. Edson Omar Mazariegos Marcial

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN EFICIENTE DEL
RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSUÉ OTTONIEL VELIZ MORALES

ASESORADO POR EL MTRO. ING. EDSON OMAR MAZARIEGOS MARCIAL

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2023

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. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
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 UNA PROPUESTA DE GESTIÓN EFICIENTE DEL RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de octubre de 2022.



Josué Ottoniel Veliz Morales



EEPFI-PP-2125-2022

Guatemala, 17 de noviembre 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 DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN EFICIENTE DEL RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO EN GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos**, presentado por el estudiante **Josué Ottoniel Veliz Morales** carné número **201800607**, 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.

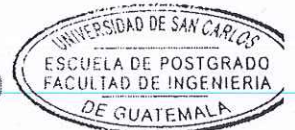
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Edson Omar Mazariegos Marcial
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 18816

Mtro. Edson Omar Mazariegos Marcial
Asesor(a)

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-1735-2022

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 DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN EFICIENTE DEL RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Josué Ottoniel Veliz Morales**, 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

A handwritten signature in black ink, followed by 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, noviembre de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.037.2023

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 UNA PROPUESTA DE GESTIÓN EFICIENTE DEL RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO EN GUATEMALA**, presentado por: **Josué Ottoniel Veliz Morales**, 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, enero de 2023

AACE/gaac

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por brindarme la sabiduría, fortaleza e inteligencia necesaria para crecer profesionalmente y guiarme siempre para alcanzar mis metas.
- Mis padres** Armando Veliz (q. e. p. d.) e Irma Morales, porque siempre me brindaron su apoyo, por inculcarme buenos valores y principios, al igual que por su amor incondicional.
- Mis hermanos** Jorge Veliz (q. e. p. d.), Jocely, Jairon y Judith Veliz, por las enseñanzas y apoyo transmitidos durante mi formación académica.
- Mis abuelos** Cupertino Veliz (q. e. p. d.) y Rosa Sánchez (q. e. p. d.), por todo el apoyo, consejos y amor brindado.
- Mi novia** Por ser parte importante de mi formación profesional y por su constante apoyo y amor durante mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por aportar valiosos conocimientos y brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.
Jorge Armando Veliz Morales	Por incentivarme a cumplir mis metas, ser ejemplo de lucha y esmero, por los valiosos consejos que me ayudarán a ser un excelente profesional.
Mtro. Ing. Edson Omar Mazariegos Marcial	Por su disposición, compromiso y valiosos conocimientos aportados al asesorar mi trabajo de investigación.
Ing. Giovanni Carrera Galván	Por su apoyo y colaboración en el proceso de elaboración del presente trabajo de graduación.
Mi familia	Por la motivación y apoyo brindado a lo largo de mi vida.
Mis amigos	Por el aprecio, cariño y enseñanzas brindadas a lo largo de mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Centrales hidroeléctricas	21
7.2. Historia de hidroeléctrica en Guatemala.....	22
7.3. Actualidad sobre las hidroeléctricas en Guatemala	24
7.3.1. Características de una central hidroeléctrica	24
7.3.2. Tipos de centrales eléctricas	25

7.3.2.1.	Central de agua fluyente	25
7.3.2.2.	Central con embalse o de regulación	25
7.3.2.3.	Central de acumulación por bombeo	26
7.3.2.4.	Central a filo de agua	26
7.3.2.5.	Clasificación de las hidroeléctricas	27
7.3.3.	Funcionamiento de una central hidroeléctrica	28
7.3.4.	Partes de una central hidroeléctrica	28
7.3.5.	Potencia en una central hidroeléctrica	29
7.4.	Aportes de la generación hidroeléctrica	30
7.4.1.	Ventajas de la generación hidroeléctrica	30
7.4.2.	Desventajas de la generación hidroeléctrica	31
7.5.	Impacto ambiental	31
7.6.	Instituciones reguladoras	32
7.6.1.	Ministerio de Energía y Minas (MEM)	32
7.6.2.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)	32
7.6.3.	Administrador del Mercado Mayorista (AMM)	33
7.6.4.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)	33
7.7.	Gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico	33
7.8.	Calidad del agua y desarrollo sostenible	34
7.9.	Características del agua	35
7.9.1.	Físicas	35
7.9.2.	Químicas	35
7.10.	Agua y su uso en generación	36
7.10.1.	Relación entre el agua y la energía	36
7.10.2.	Flexibilidad y eficiencia del agua	37
7.10.3.	Potencial energético del agua	38
7.10.4.	Matriz energética	38
7.10.4.1.	Participación de energía hidráulica	39

7.10.5.	Características de la demanda	40
7.10.5.1.	Margen de reserva	41
7.11.	Propuesta de gestión	41
7.11.1.	Política energética	41
7.11.2.	Plan energético	42
7.11.3.	Desarrollo de un plan energético	43
7.12.	Manejo y control de la información energética	45
7.13.	Características de la información energética	46
7.14.	Escenarios de gestión eficiente	47
7.14.1.	Escenarios estratégicos	48
7.15.	Marco regulatorio	49
7.16.	Propiciar la eficiencia del uso de agua y energía	49
7.17.	Promover innovaciones	50
7.18.	Avance tecnológico	50
7.19.	Desarrollo de capacidades	50
7.19.1.	Instrumentos de mejora	51
7.19.2.	Instrumentos económicos	51
7.19.3.	Instrumentos de política	51
7.19.4.	Herramientas de evaluación	52
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
9.	METODOLOGÍA	57
9.1.	Diseño de investigación	57
9.2.	Tipo de estudio	58
9.3.	Alcance	58
9.4.	Variables e indicadores	59
9.5.	Fases del estudio	60
9.5.1.	Fase 1: exploración bibliografía	60

9.5.2.	Fase 2: evaluación de la información	60
9.5.3.	Fase 3: análisis y planteamiento de alternativas	61
9.5.4.	Fase 4: propuesta de plan de gestión eficiente	61
9.6.	Resultados esperados.....	61
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	63
11.	CRONOGRAMA	65
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	67
	REFERENCIAS	69
	APÉNDICES.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de una central eléctrica	22
2.	Matriz de generación de energía eléctrica.....	39
3.	Modelo de construcción de escenarios	48
4.	Cronograma de actividades.....	66

TABLAS

I.	Costo del estudio.....	67
----	------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
Q	Caudal
η_t	Eficiencia de la turbina
η_g	Eficiencia del generador
GW	Gigavatio
GWh	Gigavatio-hora
g	Gravedad
=	Igual
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora
m	Metros
*	Multiplicación
%	Porcentaje
P	Potencia
Q	Quetzal
V	Voltaje

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista
CH	Central Hidroeléctrica
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
CO2	Dióxido de carbono.
DAFO	Herramienta analítica que facilita la identificación de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades al momento de emprender una nueva tarea o proyecto.
Flexibilidad	Característica de un proyecto, política o plan energético de adaptarse a las condiciones no previstas o situaciones inciertas, sin perder la rentabilidad del proyecto, es decir que el proyecto siga brindando resultados positivos independientemente del escenario que se le presente.
Flora y Fauna	Términos empleados para describir y agrupar a los distintos seres vivientes en los ecosistemas, la flora hace referencia a todo tipo de plantas, mientras que la fauna categoriza a los animales de cierta región geográfica.

INDE	Instituto Nacional de Electrificación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MEM	Ministerio de Energía y Minas
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
Optimización	Se refiere a un conjunto de mecanismos que faciliten o eficienten el trabajo cotidiano y logren obtener un mejor beneficio con menor cantidad de recursos y menor tiempo de producción, sin afectar la calidad del producto final.
PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica.
Salto de agua	También se le conoce como caída, se refiere a la altura en la que se encuentra el depósito de agua o cascada, debe ser calculada para adquirir la suficiente energía potencial y cinética capaz de generar electricidad.
Turbina Francis	Turbina de flujo centrípeto y la más utilizada, aprovecha la energía transmitida por el de agua en la caída, acoplada al generador eléctrico es la que hace posible la generación en las centrales hidroeléctricas.

RESUMEN

La energía hidráulica contribuye cada vez más en la generación limpia y poco contaminable, lo cual conlleva un mejor desarrollo económico, tecnológico e industrial. Son muchos los beneficios de este tipo de generación, a pesar de que el recurso hidroeléctrico representa la mayor participación en la matriz energética no se le ha dado la importancia adecuada, impidiendo el desarrollo humano e impactando negativamente en el desarrollo sostenible de Guatemala.

El agua por ser una fuente de energía renovable requiere una gestión eficiente que limite su uso, sin embargo, aún no se poseen leyes que velen por la conservación del agua en las centrales hidroeléctricas, creando innumerables consecuencias que hacen vulnerable el actual sector eléctrico.

El principal objetivo de esta investigación es desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico, al igual que proponer un conjunto de acciones que faciliten el uso racional del agua, evidenciando la relación existente entre dicho recurso y el desarrollo sostenible para satisfacer la demanda de energía eléctrica y así aprovechar su potencial energético para disminuir la contaminación ambiental.

Se describirán los conceptos y fundamentos teóricos de las variables en estudio, por medio de un diseño no experimental y de tipo descriptivo, empleando un paradigma interpretativo y sociocrítico para diseñar las principales estrategias de gestión, haciendo uso de herramientas de estadística descriptiva y técnicas de análisis de datos tales como exploración bibliográfica para la clasificación y

recolección de información, evaluación de la información, creación de escenarios energéticos, planteamiento de alternativas, entre otros.

Por tanto, la aplicación de las propuestas diseñadas en esta investigación, servirán de guía para la eficiente gestión del agua en plantas hidroeléctricas, propiciando la expansión de la electrificación rural e implementación de herramientas y estrategias que reduzcan los niveles de contaminación, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

1. INTRODUCCIÓN

El agua se ha convertido en el fluido con mayor importancia en la generación eléctrica, comparado con otros tipos de energía renovable, por ende, el recurso hidroeléctrico continúa obtenido la máxima participación en la matriz energética, ofreciendo gran cantidad de recursos y beneficios para el actual sistema eléctrico. El agua por ser una fuente natural ha permitido el desarrollo de la vida humana, ha contribuido en la reducción de los niveles de contaminación ambiental y nos proporciona energía limpia. El acceso a energía eléctrica es de vital importancia en la sociedad e industria para combatir la pobreza, emplear mejoras en la educación, adquirir mayor avance tecnológico, lograr el desarrollo humano, entre otros.

La energía hidráulica es aquella que utiliza el caudal del agua en constante movimiento para generar energía eléctrica. Su obtención se debe al aprovechamiento de la energía potencial y cinética de los saltos o corrientes de agua. Debido a la fuerza creada por la caída de agua contenida a grandes alturas, se genera la suficiente energía para hacer girar una turbina, que está conectada directamente a un transformador, para finalmente producir electricidad.

Uno de los beneficios que posee este tipo de energía es su carácter renovable y debido al ciclo del agua se puede considerar inagotable. Por otro lado, una incorrecta e ineficiente gestión de este recurso, conlleva a innumerables consecuencias que pueden suponer un gran impacto medioambiental, pérdida de la flora y la fauna del entorno, proliferación de enfermedades, pérdidas económicas, entre otras.

El presente trabajo propone un diseño para la gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico, que por medio de un conjunto de acciones y estrategias se fortalezca, facilite y permita aprovechar al máximo el potencial energético del agua, aplicable para las distintas centrales hidroeléctricas. De esta manera se favorece la inclusión de nuevos proyectos de energía renovable, que contribuyen al desarrollo sostenible de Guatemala.

2. ANTECEDENTES

Un primer trabajo corresponde a Guastay (2020), el cual menciona que los beneficios y ventajas de la energía eléctrica marca un antecedente en la historia de la especie humana y alrededor del mundo, su manera de generarla y producirla constantemente se ha convertido en un tema estudiado por siglos. Es demasiada la información histórica sobre el uso de energía a partir de recursos renovables como el agua propiciada por una realidad ambiental que supone la sobrevivencia del mundo entero.

Según los organismos internacionales que hacen seguimiento al estado actual de la atmósfera, lagos, ríos, océanos y demás, señalan que se tiene un fuerte impacto ambiental por el uso y producción de energía eléctrica como hasta ahora se está haciendo, lo cual genera terribles consecuencias al ser humano y al planeta. Basado en ello se realizó un estudio del estado de la infraestructura que posee Ecuador y su impacto industrial por medio de energía renovable.

Se presentan los avances de la energía eléctrica a partir de energía renovable, principalmente la energía hidráulica y su impacto en la industria. La energía hidráulica es un tema de suma importancia a nivel global para la conservación del hábitat, ahorro energético y medio ambiente. Ya que esta energía tiene un gran porcentaje de contribución a nivel global se convierte en objetivo de estudio, y su constante avance permite el estudio de su mejor uso y aprovechamiento.

Por medio de técnicas exploración y con información proveniente de bibliotecas y librerías, en cuanto a distintos organismos globales, se consideró la

organización OLADE, al igual que el ente y órgano de la Electricidad y Energía Renovable, también se incluyó al observatorio, entre otras instituciones, departamentos, municipalidades y personal que aportaran información verídica y confiable.

También se procedió a una exploración bibliográfica específicamente de artículos sobresalientes los cuales coincidían con parámetros guía de comparación, considerando fundamentalmente: generación de energía eléctrica, manipulación del agua, desarrollo económico e industrial, energías híbridas, proceso industrial, la exploración se realizó por un periodo de 6 años, iniciando en 2014, donde fueron encontrados varios artículos correspondientes con la energía, al igual que distintos documentos relacionados con energías renovables.

Se clasificaron seleccionaron algunos para la realización del estudio, en cuanto a los criterios de inclusión fueron considerados: energías renovables, desarrollo industrial y económico, electricidad, año de publicación, se consideró por la exploración bibliográfica de artículos, donde fueron excluidos los artículos relacionados con generación por medio de recursos fósiles.

Esta investigación radica en la supervisión de documentos oficiales e internacionales, así como artículos publicados en base a datos sobre la materia en todas aquellas fuentes renovables para generar electricidad, así como en proyectos a ser desarrollados, de esta forma evidenciar la matriz energética y cómo afecta en el desarrollo sostenible de la región.

Como segundo trabajo se toma de referencia el realizado por UNEP (2014), que indica y muestra que si no se trabaja en un plan de control y gestión del agua, a nivel mundial se superarán los estándares de agua, lo que puede provocar un desabastecimiento de energía eléctrica que elevará los índices de

los recursos disponibles hasta que sean agotados, y por ende provocar innumerables pérdidas en la salud que podrían impactar la bolsa de valores, aproximadamente se provee que el 40 % de suministros ya no sean rentables en el 2030. Se estima que la generación hidroeléctrica pierda considerablemente sustentabilidad, al igual que existirá hasta un 39 % de aumentos en los pliegos tarifarios de la producción, que evidencian un margen de hasta 70 % de gastos que deben ser destinados a obra gris o construcción de edificaciones que garantice que las inversiones sean útiles y potencialicen el desarrollo tecnológico e implementación de nuevas herramientas de producción.

En la actualidad, la generación energía limpia emplea un 8 % de agua que es explotada a nivel global, en varios países en vías de desarrollo el agua es utilizada en un 40 % para generación. La constante producción de energía conlleva que se aumenten las tarifas a los usuarios finales, ante la falta de recursos se estima que se aumente en un 33 % el costo de la energía en los próximos 5 años, y reflejar un 90 % desarrollado en países que no pertenecen a la Organización y Cooperación para el Desarrollo Económico o bien OCDE.

En este trabajo también hace hincapié en las necesidades por cumplir para el uso, protección y resguardo del agua y como es empleada de forma directa en la energía eléctrica, de no ser así se duplicarán o triplicarán las ofertas de demanda energética. La explotación de agua contemplada en la matriz energética en 2010 fue de alrededor de 300 a 500 millones de unidades de volumen, de los cuales aproximadamente el 9 % fue agua proporcionada a los usuarios, mientras que el resto se perforó y extrajo, nunca fue depositada nuevamente a su origen.

En dicha investigación se plantean los desafíos y desventajas del uso eficiente del agua y se trabaja en un modelo estratégico para favorecer la

eficiencia en su uso con relación a la energía. Entre los temas más relevantes se pueden enumerar:

- Edificación de ideas para propiciar la colaboración continua
- Implementación de nuevas tecnologías y fuentes de información para erradicar los fallos en la producción
- Generar un avance exponencial en la transferencia de tecnología confiable.
- Creación de vínculos y alianzas
- Fomento de innovaciones
- Desarrollo de capacidades

Para finalizar, el artículo menciona los instrumentos para la mejora y eficiencia, entre ellos los aspectos políticos, económicos y de evaluación. Por largos periodos de tiempo los esfuerzos en temas para la mejora en la eficiencia del manejo del agua y la energía utilizada han sido investigados por separado y por distintos medios. Los planes de gestión para la identificación de la eficiencia de la oferta y demanda permitirían a los distintos países erradicar la falta de recursos hídricos y proponer alternativas que hagan uso de factores e indicadores que evidencien la contaminación de ecosistemas y del medioambiente.

En cuanto al uso moderado de esta fuente natural se podría definir como un fundamento que conlleva múltiples parámetros. Que se interpreta como lograr una mejor productividad o mayores kW de energía con la menor utilización de recursos del ambiente, mediante el mejor aprovechamiento de los recursos que nos brinda el planeta, evitando el excesivo uso de fuentes naturales, y mejorando los índices establecidos para la sostenibilidad del territorio y habitantes.

Un mejor uso del agua se enlaza con el alce de la efectividad del agua, se debe trabajar en reducir la demanda de su uso y las emisiones correspondientes a la explotación de este tipo de energía renovable, por medio de la optimización del precio de las múltiples acciones, por ello hacer eficiente los métodos y procedimientos del agua entre sus diferentes usos para recuperar el costo invertido y trabajar en las ganancias, evidenciando su uso correcto a lo largo de la disponibilidad de dicho recurso hídrico en el medioambiente.

Como tercer trabajo se puede hablar de Diaz (2008), el cual establece como criterio y parámetro de optimización, la alta eficiencia en la operación de las distintas fases de generación hidroeléctrica. Este criterio se aplica a un caso de estudio donde es posible un sistema de generación de salto medio, operado por una turbina Francis, con el fin de ejemplificar que en la planificación realizada de la operación de una central hidroeléctrica es factible y conveniente considerar la eficiencia de los recursos hidráulicos utilizados para la generación eléctrica.

Los esquemas tradicionales de hoy en día, normalmente, se basan en un concepto de costo de sustitución, de energía termoeléctrica por hidroeléctrica, y en un costo de oportunidad, estimado con base en escenarios de índole hidrológicos y de almacenamiento de agua en los distintos tipos de embalses.

Para la solución del inconveniente, se formula una función de costos futuros, que se utiliza para encontrar la cantidad de agua que debe usarse en el período actual y la que debe ahorrarse para posterior utilización.

La idea fundamental de este artículo fue aplicar herramientas de análisis estadístico y de optimización gráfica para lograr una gestión y planificación eficiente de los distintos recursos hidráulicos en la operación de la central hidroeléctrica. En cuanto a la metodología de este artículo, se considera que las

señales, tanto de largo, como de mediano plazo, de un sistema agregado, pueden incluir gran incertidumbre, y causar inconvenientes en la toma de decisiones para cualquier sistema en análisis, como lo es en los objetivos planteados por una institución dedicada a la generación hidroeléctrica.

Por ello, se considera importante elaborar un análisis complementario de corto plazo que sea una herramienta para ajustar las metas de mediano y de largo plazo. Estrategias de utilidad deberían ser implementadas, la de clasificación e identificación por cortes de Benders es normalmente empleada cuando se presentan variables confusas o poco comprensibles, aquellas cuya presencia añaden significativa complejidad al problema. Comúnmente se le conoce como Programación Dinámica Dual Estocástica.

En el artículo se formula un modelo no lineal para representar y evaluar la eficiencia técnica en el uso y operación de turbina de generación hidroeléctrica, iniciando con los respectivos gráficos otorgados por sus fabricantes, o bien conocidos como diagramas colinares. Con base en esto se propone un análisis de regresión tipo no lineal múltiple, para representar y evaluar el comportamiento de la eficiencia de una turbina Francis como una expresión matemática cuadrática de la cabeza neta de la turbina y la descarga de agua.

Se plantea una trayectoria de máxima eficiencia relativa, que permite determinar la descarga óptima para una cabeza neta dada, la cual es visible en el diagrama colinar y calcularse de forma analítica con la función anteriormente estimada. Al igual que se analiza la utilidad de esta trayectoria para la toma de decisiones con respecto a la descarga de agua requerida, así definir las estrategias críticas que conduzcan a cambios para el bien de la productividad y reducción de riesgos de inversión.

Como cuarto trabajo se menciona el realizado por Severiche (2013), el cual indica que para lograr el desarrollo sostenible es un pilar importante para las futuras generaciones el estudio de la conexión directa entre la energía y el agua, al igual que estudios que aporten soluciones a la disminución del consumo energético en los diversos diseños y sistemas de obtención.

El agua puede tener gran potencial energético, existen distintas formas de generar energía eléctrica pero la energía obtenida por medio de los flujos de agua nos brinda gran versatilidad en sus usos y aplicaciones que se ha convertido en parte fundamental en la sociedad moderna.

En la actualidad es de importancia la generación eléctrica ya posee alta participación en los distintos sectores de producción domiciliar, comercial e industrial y que son necesarios para garantizar el correcto desarrollo de las comunidades y actividades en las que se emplea el agua. La energía del agua ya sea en sus distintas formas como el vapor, es transformado en energía mecánica por medio de las turbinas para posteriormente transformarse en energía eléctrica, de esta forma es que operan las hidroeléctricas que son las más contribuyentes en la producción de energía y estas aprovechan la gravedad para almacenar energía.

Este trabajo también muestra que las plantas hidroeléctricas tienen la ventaja de una vida útil más prolongada de 2 a 10 veces más que las plantas de combustibles y carbón.

La energía hidráulica representa una participación del 37 % en la actual matriz energética, pero tiene efectos negativos como la producción de CO₂ las cuales se tratan de mitigar, pero comparadas con otras plantas productoras de energía siguen siendo amigables al medio ambiente. La energía hidroeléctrica permite

obtener múltiples beneficios y ahorro económico, no tan solo de agua si no que de energía y por ende genera oportunidades de desarrollo económico y social propiciando una mejor calidad de vida.

Normalmente se utiliza maquinaria y equipo para mover turbinas con la ayuda del potencial del flujo de agua con el fin de generar electricidad de distintas formas, que consideran la naturaleza y los recursos que esta brinda, lo que depende de la ubicación de estos recursos se generan inconvenientes económicos, políticos y sociales en los que utilizarse el agua como fuente de generación de energía. Las principales fuentes de recurso hídrico son las hidroeléctricas, mareas, olas y energía térmica oceánica. Por estas razones se obtienen nuevas ideas en el desarrollo de planes de gestión que beneficien los proyectos renovables.

Los niveles de implementación de fuentes renovables en generación impactan de forma directa en los ecosistemas y la regulación de los balances energéticos, huella hídrica y energéticos, así como conceptos clave de generación y energía renovable, permitiendo el acercamiento a las tendencias que marcan cambios necesarios para adaptarse de manera correcta a la sostenibilidad. Este artículo inicia con el hecho de mostrar la importancia de la producción de electricidad, su relevancia en los temas de política, economía e infraestructura, de esta forma se adaptan los conocimientos y se crean nuevas herramientas para la electrificación rural en comunidades con escasos ingresos.

También describe los impactos ambientales provocados en las plantas hidroeléctricas y se hace hincapié en que los métodos por medio de caudales de agua presentan las alternativas menos contaminantes y que es la que mejores beneficios presenta ante las demás formas de generación. Se describió y determinó que la energía empleada por los recursos renovables posee gran

aceptación social y económica, pero la escasez de inversiones en construcción y tratamiento de residuos sólidos o el tratamiento de agua son una barrera para este tipo de energía. Sin embargo, en los últimos 4 años se ha creado cierto interés en investigaciones y en crear políticas energéticas para mitigar este tipo de inconvenientes y así aprovechar de mejor manera este tipo de recursos naturales.

Por último, se puede mencionar el trabajo realizado por Uscátegui (2016), en el cual se entiende por pequeña central hidroeléctrica a aquellas con una capacidad instalada entre el rango de 0.2 kW las cuales son de utilidad para suministrar de energía eléctrica a hogares rurales, y hasta 500 kW que son las que suministran energía a la industria y comercios, pero pueden alcanzar hasta potencias de los GW. Estas centrales hidroeléctricas requieren un enfoque diferente en cuanto a su diseño, operación y desarrollo.

Debido a que son pequeñas requieren menores costos, pero puede que alcancen varios KWh o incluso hasta GWh de consumo. Se acostumbra a que existan especialistas en grande hidroeléctricas, sin embargo, en proyectos grandes de energía se tiende a ignorar al usuario final.

En cuanto a este tipo de centrales si se cuenta con el apoyo de los usuarios finales ya que de ellos surgen ideas y proyectos que ellos mismos pueden financiar e instalar, se tiene una relación directa con el consumidor final ya que ellos forman parte desde los inicios del proyecto. Se centra en la recopilación de artículos y antecedentes sobre proyectos de micro hidroeléctricas y describiendo el funcionamiento, gestión, construcción y diseño de estas. Posteriormente se describen las distintas alternativas para proyectos de micro hidroeléctricas dependiendo de los kilovatios hora distribuidos a los usuarios.

Por último, se hace un análisis de resultados evaluando todas las posibles soluciones a la problemática del artículo para posteriormente brindar una percepción completa en los aportes de la energía y concluir en que alternativa es la más conveniente para el mejor uso y aprovechamiento del recurso hidroeléctrico.

El principal objetivo de este artículo y uno de los temas tratados a lo largo de esta edición ha sido la provisión de energía en las zonas rurales colombianas mediante la utilización de energías renovables como: turbinas eólicas, pequeñas y grandes centrales hidroeléctricas.

Además de ser bastante eficientes siempre garantizan la preservación del medio ambiente, ya que estas no contaminan de manera tan significativa como los otros tipos de energía a base de recursos no renovables, sus emisiones contaminantes se consideran mínimas. Por ello, para esta edición de la Revista de Ingeniería se ha decidido replicar en la Sección Memoria un artículo elaborado por el profesor Jaime Loboguerrero, el cual fue publicado por primera vez en 1982. En este, el profesor Jaime hace un análisis del balance de la utilidad que tienen las pequeñas centrales hidroeléctricas en el contexto referente africano.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante el consumo cada vez mayor de energía eléctrica y los problemas reales para abastecer la demanda, el uso inadecuado de los recursos naturales para la generación de energía renovable y el impacto ambiental, deterioran exponencialmente el estado de los distintos segmentos que conforman la actual red eléctrica. Es necesario desarrollar planes y propuestas que ayuden a mitigar los factores que ponen en riesgo la calidad de vida humana.

La generación hidroeléctrica es un tipo de energía renovable que utiliza como principal fuente natural el agua, este tipo de energía se ha convertido en una de las mejores alternativas para la expansión de la electrificación rural. Debido a su bajo nivel de contaminación comparado con otros tipos de energía renovable, contribuye en gran parte al desarrollo sostenible del país, sin afectar de manera significativa al medio ambiente, por ello es importante contar con una eficiente planificación, asignación y control del recurso hidroeléctrico.

La ineficiente gestión y mal aprovechamiento del recurso energético hidroeléctrico, ha traído como consecuencia el desabastecimiento de energía eléctrica en comunidades rurales del país, poniendo en riesgo cualquier plan de energía renovable. Por ello, existe una demanda insatisfecha que cada vez incrementa, provocando la escasez de agua que conduce al fracaso de proyectos de infraestructura eléctrica, pérdida económica, pérdida de oportunidades, incumplimiento de metas, desventaja competitiva, incumplimiento de compromisos contractuales, entre otros.

Se debe reforzar por medio de un conjunto de estrategias una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico, que permita aprovechar al máximo el potencial del agua para satisfacer las necesidades de la población guatemalteca, controlando el impacto ambiental de este tipo de energía durante el proceso de generación, así mismo, brindar una percepción completa en la identificación de proyectos clave para el futuro sistema eléctrico empleando recursos naturales.

- Pregunta central

¿Cómo desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala?

- Preguntas auxiliares

- ¿Qué conjunto de acciones se deben considerar para facilitar el uso del recurso natural del agua en Guatemala?
- ¿Qué relación existe entre la correcta gestión del recurso hidroeléctrico en el desarrollo sostenible de Guatemala?
- ¿Cómo se satisfacen las necesidades de la población guatemalteca con la utilización del potencial energético del agua?
- ¿Qué importancia tiene el aprovechamiento del agua para evitar la contaminación ambiental en el proceso de generación de energía eléctrica en Guatemala?

4. JUSTIFICACIÓN

La importancia de esta investigación se debe a que existe una ineficiente asignación y control del recurso energético hidroeléctrico, lo cual impide satisfacer la demanda de energía eléctrica, poniendo en riesgo la calidad de vida de los guatemaltecos.

La maestría al encontrarse entre el marco de energía y ambiente involucra todo análisis profesional dentro de la correcta gestión para el buen funcionamiento del equipo, en donde habrá un beneficio ambiental, evaluación del marco legal y aplicación de los conceptos relacionados al análisis de recursos naturales y aprovechamiento de su potencial energético.

Esta propuesta se basa en la línea de investigación relacionada a la gestión y uso eficiente de la energía, específicamente en el inciso b) Aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos. El aporte será desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala, beneficiando a la población guatemalteca e instituciones del Estado.

Se desea abastecer la actual demanda de energía eléctrica, por medio de fuentes renovables, que sean menos contaminantes para el medio ambiente, para lograrlo se propone gestionar de manera eficiente el uso del agua, ya que por ser el recurso natural más abundante y con mayor participación en la matriz energética, requiere una correcta planificación que garantice el uso adecuado de dicho recurso.

Genera un conjunto de acciones que faciliten el uso del recurso hidroeléctrico para la generación de energía eléctrica, aprovechando al máximo el potencial energético de dicho recurso natural.

Al obtener un modelo de gestión eficiente, se logrará controlar los niveles de contaminación en los ecosistemas, favoreciendo la inclusión de nuevos proyectos de energía renovable, que contribuyen al desarrollo sostenible del país. Esta investigación es pertinente debido a que será un beneficio para la eficiencia en la producción de energía eléctrica y brindará aportes para futuros proyectos en plantas hidroeléctricas.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala.

5.2. Específicos

- Proponer un conjunto de acciones que faciliten el uso adecuado del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala.
- Establecer la relación que existe entre el desarrollo sostenible y el uso eficiente del recurso hidroeléctrico en Guatemala.
- Analizar el comportamiento del potencial energético del agua para satisfacer las necesidades de la población guatemalteca.
- Determinar la importancia del aprovechamiento del agua y su impacto ambiental durante el proceso de generación de energía eléctrica en Guatemala.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En este trabajo se quiere desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala. El desarrollo de la propuesta en mención, permitirá ser la base para replicar dicha metodología y ser de ejemplo para que otras instituciones generadoras del Estado a nivel nacional consideren la necesidad de velar por el uso adecuado del agua y su impacto ambiental.

Al desarrollar una propuesta de gestión eficiente para el recurso natural del agua es necesario que se plantee una serie de acciones y procedimientos estratégicos que faciliten el uso correcto del agua para aumentar la generación eléctrica, para aprovechar al máximo el potencial energético de dicho recurso natural. De esta forma se logrará abastecer la demanda actual y permitirá proveer de energía a las comunidades rurales, mitigando los niveles de contaminación ambiental sin poner en riesgo la calidad de vida de los guatemaltecos.

El recurso energético hidroeléctrico es un tema conocido y ha sido estudiado a nivel nacional y regional, pero aún no se le ha dado la importancia necesaria para implementar proyectos de energía que utilicen como fuente principal el agua. En la mayoría de hidroeléctricas del país, no se cuenta con un plan o alguna ley vigente para la gestión de dicho recurso, por ello se utiliza de forma inadecuada que provoca su escasez, tampoco se establecen los parámetros necesarios para el mejor aprovechamiento del agua, evidenciando pérdida de oportunidades y desventaja competitiva.

Lo cual se evita con un correcto plan de gestión y a su vez contribuye con la inclusión de proyectos de energía renovable que impactan de forma significativa en el desarrollo sostenible de Guatemala. Aunque la energía hidráulica representa la mayor parte de generación actual, se tiene una baja participación y falta de interés en proponer mejoras por parte de las instituciones del Estado.

Derivado que, en la Maestría de Energía y Ambiente, existe el área de energía esta propuesta de gestión eficiente del agua para plantas hidroeléctricas contribuye específicamente en realizar un uso adecuado del recurso hidroeléctrico, que reduce la contaminación del medio ambiente, controla e identifica las áreas de oportunidad de este tipo de energía para la futura incorporación de proyectos de infraestructura eléctrica que contribuyan a mejorar la actual red eléctrica.

Al ser un profesional con conocimientos en ingeniería Mecánica Eléctrica y también en el área ambiental, este proyecto complementa y brinda una propuesta en la identificación de los principales mecanismos que efficienten el proceso de generación hidroeléctrica utilizando de forma apropiada el agua proveniente de los ecosistemas, recalcando la importancia de cumplir con los parámetros que aseguren el abastecimiento de energía eléctrica en comunidades marginadas. Por último, presentar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala.

7. MARCO TEÓRICO

Se describen a continuación, los métodos y bases teóricas para el correcto aprendizaje del lector. El objetivo de estos conceptos teóricos es mostrar a la sociedad las herramientas necesarias para adquirir y fortalecer sus conocimientos y así facilitar el uso del recurso energético hidroeléctrico.

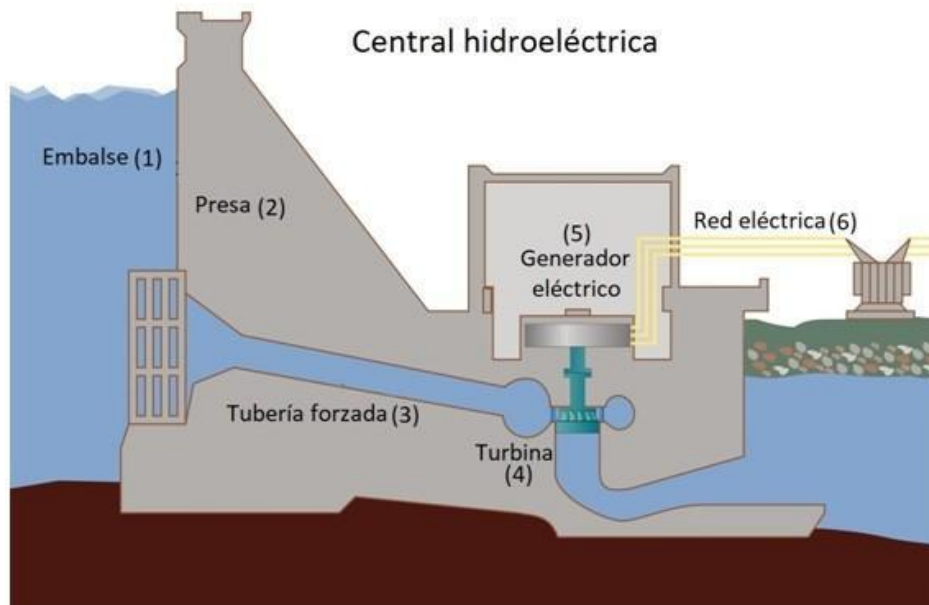
7.1. Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas son plantas generadoras de electricidad que utilizan como principal recurso natural el agua. Según el diseño y construcción de las plantas hidroeléctricas, así será su capacidad de generación, la energía cinética y potencial se obtiene de la caída de agua, contenida a grandes alturas lo que hace que a una gran presión el agua impacte en las aspas de la turbina, la cual se encuentra acoplada a un transformador eléctrico para posteriormente abastecer de energía eléctrica a las distintas comunidades.

Las plantas hidroeléctricas son diseñadas de distintas formas, en las que influyen parámetros como los recursos disponibles para su construcción, clima del entorno, entre otros. La capacidad de generación de una hidroeléctrica depende directamente de estos parámetros. La principal función de una central hidroeléctrica es aprovechar el potencial energético del agua que transportan los ríos para transformarla en generar energía eléctrica limpia y confiable.

A continuación, se muestra un esquema explicativo de una planta hidroeléctrica:

Figura 1. **Esquema de una central eléctrica**



Fuente: Ingeoexpert (2018). *Partes de una hidroeléctrica*. Consultado el 8 de septiembre de 2022. Recuperado de: <https://ingeoexpert.com/2018/03/22/como-funciona-una-central-hidroelectrica/>.

7.2. Historia de hidroeléctrica en Guatemala

En Guatemala, durante el periodo de gobierno de Justo Rufino Barrios, fueron convocados empresarios locales e internacionales para participar en la inversión de infraestructura para generación de energía eléctrica. Pero fue hasta mayo de 1886 que se inició con la planificación de la construcción de la principal central hidroeléctrica de Guatemala, la cual fue instalada en la Finca El Zapote, con una caída de 5 m de altura se hacía mover dos turbinas tipo Leffel con la

suficiente fuerza para hacer brillar alrededor de 130 lámparas, las cuales se ubican en diversos sectores en el centro de la ciudad.

Posteriormente en 1894 se fundó la Empresa Eléctrica de Guatemala para abastecer de energía la capital del país, dicha empresa fue creada por un consorcio alemán, pero debido a los acontecimientos de la primera guerra mundial, se expropió la planta de generación de Palín y se convirtió en patrimonio nacional.

La Hidroeléctrica Santa María, fue construida con el fin de proveer energía para el Ferrocarril de los Altos, en 1927. Al desaparecer este tipo de transporte, se creó el Departamento de Electrificación Nacional como una dependencia del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Se inicia el Plan de Electrificación Nacional iniciado en Totonicapán, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Sololá, el cual toma como pilar a la Hidroeléctrica Santa María.

Se inicia con la construcción de la Hidroeléctrica Río Hondo a mediados de los años cincuenta. Se crea el Institución Nacional de Electrificación (INDE), con el fin de proveer electricidad a todo el territorio guatemalteco, iniciando sus actividades en 1961.

En busca de mejoras del subsector eléctrico se creó la Ley General de Electricidad, misma que rige las funciones del sector eléctrico, en la misma se contempló la creación de diversas instituciones. Ante la poca rentabilidad del INDE fueron separadas las Empresas de Distribución de Energía Eléctrica de Oriente y Occidente y Ente Corporativo.

7.3. Actualidad sobre las hidroeléctricas en Guatemala

Guatemala cuenta con diversas plantas hidroeléctricas. Actualmente existen diecinueve centrales hidroeléctricas en constante operación, entre ellas se destaca la hidroeléctrica Chixoy que es considerada la más importante.

Según el informe de resultados de operación presentado por el AMM (2021), donde se recopilan los datos de generación hidroeléctrica por mes, mismos que han sido calculados por el despacho de carga y ejecutados en Sistema Nacional Interconectado, en dicho reporte se evidencia que el mes con mayor generación fue septiembre con 777.48 GWh, el mes con menor participación se le atribuye a febrero solamente con 333.29 GWh, en total se generaron 5,960.29 GWh de energía hidroeléctrica.

7.3.1. Características de una central hidroeléctrica

Existen varios indicadores y características que permiten diferenciar a la energía hidráulica de otros tipos de energía renovable, estas características se representan en aspectos ambientales, operativos, constructivos y económicos. Su estudio es importante, ya que nos permite conocer las ventajas de una planta hidroeléctrica.

Entre las características más relevantes de este tipo de energía, se puede mencionar su bajo nivel de contaminación ambiental. Al utilizar el agua como principal recurso, se logra hacer eficiente la producción de energía eléctrica, por el contrario, la energía no renovable conlleva a depender en gran manera de organismos internacionales.

7.3.2. Tipos de centrales eléctricas

Debido a las diversas formas de hacer uso del recurso hídrico para lograr aprovechar al máximo su potencial energético existen diversos tipos de centrales hidroeléctricas. La conversión del agua en movimiento en energía eléctrica involucra distintas obras civiles, equipos eléctricos e hidráulicos.

El diseño de las plantas hidroeléctricas se ha ido adaptando a los distintos parámetros climatológicos y geológicos, dando paso a estructuras específicas que permitan una producción eficiente, al igual que en algunos casos, construcciones específicas para evitar cualquier tipo de accidente dentro de las centrales.

Según su potencial de generación eléctrica y de la regulación del volumen de agua, se pueden clasificar en:

7.3.2.1. Central de agua fluyente

Son las centrales que aprovechan la velocidad del caudal natural de agua de un río situado a dos niveles distintos. A través de un túnel de derivación es transportada el agua, hasta hacer que el agua llegue a las turbinas, sin la ayuda de tubería especial o reforzada. Lo que hace que la potencia de este tipo de centrales hidroeléctricas dependa directamente de la velocidad del agua que se atraviesa de un nivel al otro, o bien del salto y del caudal del río.

7.3.2.2. Central con embalse o de regulación

A diferencia de las plantas de agua fluyente, en esta central hidroeléctrica se emplea uno o más embalses aguas arriba, utiliza recursos de fuentes

naturales y renovables como lagos, manantiales, cascadas y ríos, esto se logra construyendo una obra gris o bien una presa.

El agua es transportada por medio de tubería forzada para resistir la presión ejercida al llevar el agua del río hacia las turbinas en la central. Aguas abajo existe otro embalse, que hace que las aguas turbulentas provenientes del proceso de generación eléctrica logren estabilizar el caudal de agua antes de ser depositado al río del cual provienen. El propósito de los diversos embalses es regular el caudal de agua en toda la central hidroeléctrica.

7.3.2.3. Central de acumulación por bombeo

Las centrales hidráulicas de bombeo o también llamadas reversibles, poseen dos embalses a diferentes alturas, uno aguas arriba y otros aguas abajo; este último actúa como una reserva, ya que en caso de menor o mayor demanda de energía este aporte el caudal necesario para mantener la estabilidad en la producción de la planta.

El agua es transportada desde el embalse ubicado aguas abajo hasta el embalse aguas arriba mediante una estación de bombeo, lo cual permite regular el paso del caudal de agua por la central, brindando mayor seguridad al proceso de generación de energía eléctrica. En algunas hidroeléctricas es posible utilizar la característica de reversibilidad implícita en las turbinas Francis para convertirlas en bombas, y así devolver el agua al embalse aguas arriba.

7.3.2.4. Central a filo de agua

Este tipo de centrales hidroeléctricas reciben este nombre ya que toman el agua de un río, pero no poseen ningún tipo de almacenamiento o embalse,

solamente se aprovecha el caudal de agua disponible en el cauce del río en cada momento.

Al no poseer reserva de agua, el caudal suministrado se encuentra oscilando y depende de las condiciones climatológicas del entorno. La infraestructura y diseño de dichas centrales hidroeléctricas es más sencilla que otros tipos de centrales, ya que su funcionamiento es básico, no se necesita de infraestructura especial para su montaje y construcción.

Estas centrales presentan una desventaja notoria, ya que solo pueden generar energía eléctrica en gran cantidad en temporadas de altos caudales o lluvia, pero en temporada de sequía su generación se ve afectada considerablemente, sumándose que su producción es impredecible y que se deben planificar reservas para abastecer la demanda del servicio, manteniendo la continuidad de este.

7.3.2.5. Clasificación de las hidroeléctricas

Las hidroeléctricas pueden clasificarse de distintas formas dependiendo de su potencia y proceso de generación de energía eléctrica. Se adoptó la clasificación sugerida por la Organización de Energía de Latinoamérica [OLADE] (2017), proponiendo los siguientes puntos:

- Picocentrales
- Microcentrales
- Minicentrales
- Hidroeléctricas (PCH)
- Centrales Hidroeléctricas (CH)

En cuanto a su concepto arquitectónico se refiere, las centrales pueden ser clasificadas en: centrales al pie de la presa, a la intemperie, alejadas de la presa, centrales en caverna, conectadas al embalse por túneles, tuberías de presión o una combinación de ambas.

7.3.3. Funcionamiento de una central hidroeléctrica

Para el funcionamiento de una central hidroeléctrica se necesitan varios elementos de contención o presas, lo cuales interrumpen el curso del agua creando una acumulación de agua, como un depósito. Mediante los elementos de obra civil, tubería forzada y túneles de derivación, el agua es transportada a la casa de máquinas. Con el uso de válvulas de seguridad, dispositivos de control y seguridad, se transporta el agua hacia las aspas de la turbina.

La fuerza del agua hace accionar las turbinas, así genera la suficiente energía mecánica, que a su vez dicha agua es devuelta al río. La turbina al estar acoplada a un generador eléctrico rotativo convierte la energía mecánica recibida por la turbina en energía eléctrica. La electricidad obtenida por medio de este proceso es regulada y transportada, para finalmente ser distribuida a los usuarios.

7.3.4. Partes de una central hidroeléctrica

Los elementos que conforman una planta hidroeléctrica pueden ser divididos en elementos electromecánicos y elementos de obra civil. Estos elementos hacen posible la operación de la planta y son los responsables de la continuidad, seguridad y versatilidad del servicio eléctrico. En cuanto a la de obra civil, se encuentran:

- Presas
- Compuertas y válvulas
- Bocatoma
- Tubería, canales y túneles
- Tubería forzada
- Desarenador
- Cámara de carga
- Casa de máquinas: Es el área con mayor importancia en una central, ya que contiene turbinas, generadores, equipo eléctrico, equipo de control, equipo de protección, entre otros.

7.3.5. Potencia en una central hidroeléctrica

La potencia es la cuantificación de la energía realizada por una fuerza en un determinado periodo de tiempo, es decir, la medida de la velocidad en la que se realiza un trabajo o bien la velocidad en la que se transfiere la energía. En las plantas hidroeléctricas la potencia se cuantifica generalmente en kilovatios (KW) y se determina empleando la siguiente fórmula:

$$P = g * \eta_t * \eta_g * Q * h \quad (1)$$

Donde:

P = potencia en KW

g = aceleración gravitacional (9.81 m/s²)

η_t = Eficiencia de la turbina (entre 0.7 y 0.95)

η_g = Eficiencia del generador (entre 0.90 y 0.97)

Q = Caudal de agua en m³/s

h = Altura de la presa, en metros (m)

7.4. Aportes de la generación hidroeléctrica

La energía hidráulica es una de las energías con mayor participación en la generación eléctrica, debido a sus bajos niveles de contaminación. Este tipo de energía presenta varias ventajas comparado con otros tipos de energía, sin embargo, no se excluye la posibilidad que presente ciertas desventajas en el proceso de generación. Para efectos de este trabajo se realizará un enfoque general, que considera las ventajas y desventajas con mayor relevancia en el área ambiental, económica y de operación que pueden presentar dichas plantas.

7.4.1. Ventajas de la generación hidroeléctrica

Una de las ventajas principales de la energía hidráulica es su ciclo de vida, al ser proveniente de una fuente natural, se considera un tipo de generación limpia y eficiente. Su ciclo de vida es considerado inagotable, ya que es el recurso natural más abundante en el planeta. Independientemente del voltaje al que se desee transportar la energía, comúnmente al consumidor 120/240 v.

Es una fuente de energía limpia y renovable, por ello los niveles de contaminación son casi nulos, el agua empleada para la generación proveniente de un río, es depositada nuevamente en la fuente que se extrajo, y evitar el deterioro de la flora y fauna del lugar.

La operación de las plantas hidroeléctricas representa un costo bajo, comparado con otros tipos de centrales de generación eléctrica, ya que el agua no representa algún costo, que beneficia la economía en el proceso de generación. Su operación se realiza a temperatura ambiente, porque no es necesaria la compra de equipo adicional.

7.4.2. Desventajas de la generación hidroeléctrica

Debido a la complejidad de su diseño y a los equipos empleados para su construcción, los costos de inversión son muy elevados, lo que implica que la implementación de cualquier proyecto de energía hidráulica tenga un largo periodo de recuperación de la inversión. Adicionalmente, requiere que las plantas cumplan con una serie de requisitos topográficos, geológicos e hidrológicos, que hacen que conlleve un largo periodo de diseño y construcción.

A pesar de que el agua empleada en la generación es depositada nuevamente en la fuente de origen, el almacenamiento del agua por largos periodos de tiempo hace que exista un deterioro en la calidad del recurso, lo cual provoca cambios en los ecosistemas y pérdida de flora y fauna del entorno, debido a las modificaciones físicas y químicas a las que se somete el agua durante el proceso de generación.

En la implementación de nuevas plantas hidroeléctricas, comunidades enteras son despojadas de su hogar, debido a los altos niveles de contaminación y ruido, su infraestructura exige un amplio lugar de construcción, por lo que varias comunidades son privadas del acceso al agua, afectando su salud y poniendo en riesgo la integridad de dichas comunidades.

7.5. Impacto ambiental

Se deben monitorear las emisiones de gases en la atmósfera por los motores de combustión de la maquinaria y equipo de construcción, evitar la contaminación auditiva por equipos de construcción, evitar la alteración del suelo por el movimiento de tierras, disminución del deterioro en la flora y fauna del lugar, así como velar por la salud de las comunidades aledañas a la planta, para

evitar la proliferación de enfermedades. Es complejo cuantificar los daños ambientales en el proceso de construcción de hidroeléctricas, para el adecuado monitoreo de los impactos ambientales provocados, se cuenta con un programa de control y seguimiento, en él se estipulan los lineamientos para evitar estos efectos en el periodo de construcción.

7.6. Instituciones reguladoras

A partir de la creación de la Ley General de Electricidad en 1996, se estipularon los entes rectores y reguladores del sector eléctrico guatemalteco. Los cuales se sustentan en tres órganos, a los cuales se les atribuyen funciones específicas, para garantizar la correcta gestión de los recursos eléctricos. El sector eléctrico en Guatemala está regido mayormente por las siguientes instituciones:

7.6.1. Ministerio de Energía y Minas (MEM)

El Ministerio de Energía y Minas es el ente rector en materia energética. Es el encargado de brindar autorización para generar, transportar y distribuir energía eléctrica. Entre sus atribuciones está el atender lo relativo al régimen jurídico de la producción, distribución y comercialización de la energía e hidrocarburos, así como la explotación de los recursos mineros.

7.6.2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica, es el ente técnico del Ministerio de Energía y Minas, posee independencia funcional, entre sus atribuciones se encuentra el formular, implementar y fiscalizar el marco

regulatorio de las distintas actividades del sector eléctrico y los agentes económicos que intervienen en dicho sector.

7.6.3. Administrador del Mercado Mayorista (AMM)

Esta institución es de carácter privado, es decir una sociedad privada sin fines de lucro. Es la encargada del conjunto de operaciones en relación con la compra y venta de energía. Su principal función es la planificación, coordinación y control de plantas de generación, relaciones y acuerdos internacionales, como líneas de transporte. Establece los precios del mercado y debe velar por la seguridad, integridad y continuidad de energía eléctrica en la región guatemalteca.

7.6.4. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Es el ente especializado en parámetros ambientales enfocándose en los bienes y servicios públicos disponibles, una de sus atribuciones es velar por la sustentabilidad de los sistemas y fuentes naturales, fomenta una cultura responsable y armonía con el entorno. Se encarga de velar por el eficiente uso de los recursos disponibles para lograr beneficios económicos, políticos, sociales y ambientales. Regula la gestión ambiental que promueve el desarrollo sostenible de Guatemala.

7.7. Gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico

El recurso energético hidroeléctrico en Guatemala es de gran importancia ya que la generación hidroeléctrica representa la mayor participación en la actual matriz energética, sin embargo, este recurso no cuenta con una correcta

planificación, generando la escasez de dicho recurso, aumento en los niveles de contaminación ambiental y un evidente deterioro de la flora y fauna del entorno.

Debido a la falta de interés en generar leyes y políticas que permitan gestionar adecuadamente el uso del agua, surge la necesidad de buscar soluciones que sean aplicables en las distintas plantas hidroeléctricas del país. Este trabajo de investigación ayudará a evidenciar las bases y estrategias necesarias para gestionar eficientemente el agua para la electrificación, aprovechando significativamente el potencial energético de dicho recurso.

7.8. Calidad del agua y desarrollo sostenible

Según la Organización de las Naciones Unidas (2015), indica que la calidad del agua es un tema que debe ser considerado, ya que es esencial para la salud, calidad y desarrollo económico. Los parámetros se encuentran directamente relacionados, generalmente solo se hace énfasis aspectos económicos y comúnmente no existe un enfoque que le dé relevancia a la calidad de agua proporcionada a la población.

Para lograr generar políticas sostenibles que contribuyan a una constante mejora, es fundamental considerar como pilar la salud. Las medidas que normalmente son adoptadas no favorecen el desarrollo tecnológico y humano, se deben adaptar a las actuales condiciones sanitarias y priorizar la protección de las fuentes naturales de energía. Es importante determinar el nivel de exposición del agua a contaminantes, para definir las estrategias sociales, ambientales, tecnológicas, y especialmente económicas.

7.9. Características del agua

Las distintas actividades productivas realizadas por el ser humano han traído como consecuencia una evidente alteración en las características del agua, provocando altos índices de contaminación que hacen el agua no apta para el consumo del ser humano. El agua es de origen natural y posee distintas propiedades y características que se clasifican en:

7.9.1. Físicas

Son las propiedades que ayudan a clasificar los estados en que podemos encontrar el agua, se consideran físicas ya que son perceptibles por los sentidos y poseen incidencia sobre la aceptabilidad o rechazo del agua como el color originado por la descomposición de la materia, los cambios de estado se producen cuando el agua atraviesa un cambio de temperatura, el agua puede encontrarse en los tres estados más comunes de la materia.

7.9.2. Químicas

Son las propiedades que se manifiestan cuando la materia cambia de composición. La estructura del agua está conformada por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Al igual que posee tanto carga eléctrica positiva como negativa, debido al desbalance de carga, las moléculas tienden a unirse con otras sustancias. El agua posee valiosos nutrientes y minerales, es considerada como un solvente universal debido a su fácil adaptación comparada con otros líquidos.

7.10. Agua y su uso en generación

Durante siglos el agua ha sido el principal recurso energético para la generación eléctrica, su uso sustenta la mayor parte de la demanda de energía. El agua al ser una fuente natural no representa altos costos de producción comparado a los costos que implica la generación por medio de recursos no renovables.

En las hidroeléctricas se almacena el agua y se aprovecha el caudal de los ríos en embalses a grandes alturas, la caída de agua provoca la suficiente energía para hacer rotar una turbina acoplada a un generador eléctrico y así abastecer de energía eléctrica a la población. Los bajos costos y la eficiencia de estos procesos han posicionado a la energía hidroeléctrica como la opción con mayor índice de ingresos e inversiones, que propician directamente el avance económico, social e industrial del país.

7.10.1. Relación entre el agua y la energía

El agua y la energía poseen una notable relación, Organización de las Naciones Unidas (2015), menciona que el agua es necesaria para la mayoría de los procesos industriales, de generación eléctrica, extracción de materia prima, correcto funcionamiento de maquinaria, entre otros. Al igual que se requiere de energía para disponer de agua destinada al consumo humano.

Es evidente la dependencia del agua en el subsector eléctrico, el agua resulta ser clave para la coordinación de proyectos de infraestructura eléctrica y continúa siendo relevante en la correcta asignación, generación, transformación y distribución de la electricidad.

Es de vital importancia el estudio del vínculo existente entre el agua y la energía, ya que la energía hidráulica es la responsable de hasta el 20 % de electrificación mundial, el uso racional y controlado del agua para la producción de energía representa oportunidades de desarrollo sostenible. Ante el constante riesgo al que el sector energético está expuesto, la inclusión del agua en planes estratégicos es fundamental para el desarrollo humano.

7.10.2. Flexibilidad y eficiencia del agua

En los parámetros de flexibilidad y eficiencia del agua se deben incluir medidas que disminuyan el volumen de agua utilizado en cualquier tipo de actividad y que proporcione una mejor calidad y mantenimiento de este recurso natural. El uso eficiente del agua está relacionado con distintos conceptos básicos sobre el manejo, tratamiento y gestión de la información energética.

Es decir, la eficiencia y flexibilidad del agua se da cuando existe una reducción o prevención de pérdida de agua, que sea de beneficio para la sociedad, en el cual la conservación de dicho recurso debe de ser de carácter social y económico.

De esta forma se asegura que existan los suficientes recursos para alcanzar las metas del desarrollo sostenible. Es importante considerar que cuando los recursos son evaluados en relación con su rendimiento, existe el incentivo, representado a través de las fuerzas de la oferta y la demanda, para gestionar los recursos de manera eficiente, mediante la introducción de avances tecnológicos.

7.10.3. Potencial energético del agua

Actualmente el agua es de los recursos hídricos con mayor potencial energético, uno de sus propósitos comunes es ser utilizado para la producción de energía eléctrica. Al ser poco liviano y estar dopado de propiedades físicas y químicas facilitan su uso, producción y distribución. Al igual que permite que grandes cantidades de agua sean almacenadas en distintos depósitos o embalses. El potencial energético del agua es mayormente aprovechado en centrales hidroeléctricas.

Al contener agua a grandes alturas se obtiene energía potencial, pero la caída de agua al ser transportada por medio de tubería forzada y al impactar contra las aspas de las turbinas genera energía cinética la cual finalmente se convierte en energía eléctrica. Por lo que el agua se utiliza en distintas actividades, no tan solo de generación, ya que las propiedades en dicho fluido facilitan su uso en distintos procesos industriales.

7.10.4. Matriz energética

La matriz energética representa la cuantificación de energía total aprovechada y generada, es de suma importancia ya que indica el porcentaje de participación de las distintas fuentes de energía con las que dispone el país.

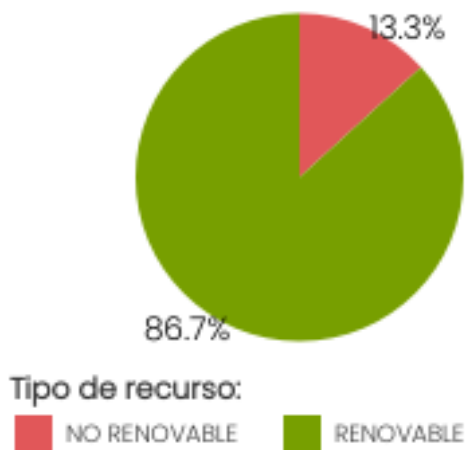
Permite identificar el grado de importancia de los distintos ámbitos económicos, los niveles de consumo y reservas que permiten el desarrollo integral del sector eléctrico. Puede ser dividida en matriz primaria y secundaria, dependiendo del tipo de recurso del cual proviene la energía. Su importancia radica en la información que proporciona sobre las distintas formas de generación y como estas influyen en el actual sistema eléctrico, por medio de la matriz se

pueden proponer nuevas estrategias de distribución, comercialización y producción de la energía eléctrica.

A continuación, se muestra el comportamiento de la matriz energética del 02 al 08 de octubre del 2022.

Figura 2. **Matriz de generación de energía eléctrica**

Por recurso:



Fuente: CNEE (2022). *Matriz energética*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. Recuperado de: <https://www.cnee.gob.gt/wp/matriz-energetica/>.

7.10.4.1. Participación de energía hidráulica

Guatemala está constituida por distintas fuentes naturales para generar electricidad, pero los recursos han sido poco aprovechados. Según datos del informe de generación hidroeléctrica elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (2018), indica que existen 38 diferentes cuencas hidrográficas que pueden ser aprovechadas para la producción eléctrica limpia, al igual que existe un

potencial aprovechable de hasta 6 500 MW de energía hidroeléctrica, pero solamente se utiliza un 23,1 % del potencial.

La energía hidroeléctrica beneficia de gran manera en la oxigenación de los afluentes de agua y limpieza de estos. Debido a la poca contaminación que representa se ha convertido en el tipo de energía renovable con mayor importancia y ha obtenido los más altos niveles de generación eléctrica.

7.10.5. Características de la demanda

La demanda es un tema importante ya que brinda los parámetros para establecer los pliegos tarifarios para pronosticar inversiones. Un factor relevante para entender su comportamiento es el factor de demanda, que permite cuantificar la relación existente entre el consumo máximo en cierto intervalo de tiempo y su capacidad total instalada. El proceso de planificación del sector eléctrico se divide en dos grandes etapas que son:

- **Determinación de cargas iniciales:** se parte determinando la demanda eléctrica a nivel residencial, comercial, industrial, entre otros. Ya que son los sectores potenciales.
- **Proyección de cargas:** esta depende del desarrollo económico, cambios tecnológicos, inclusión, registro de nuevos usuarios y del crecimiento del servicio eléctrico.

7.10.5.1. Margen de reserva

Su importancia radica en la incertidumbre a la que se encuentra el subsector eléctrico, ya que no se sabe con exactitud el crecimiento del servicio, se debe de contar con una reserva en caso se sobrepase la demanda estimada. Para no sufrir deficiencias o que los nuevos usuarios no poseen servicio eléctrico se cuenta con un porcentaje de reserva de energía.

7.11. Propuesta de gestión

La propuesta de gestión desarrollada en este trabajo de investigación ayudará a construir las bases teóricas y a desarrollar las estrategias necesarias para aprovechar eficientemente el recurso energético hidroeléctrico en Guatemala. Por medio de un conjunto de acciones que faciliten el uso de dicho recurso para hacer factibles los objetivos y metas establecidos para cualquier proyecto de infraestructura eléctrica.

A continuación, se plantean los conceptos, estrategias y fundamentos para la creación de planes, leyes y manuales para el uso racional del agua en centrales hidroeléctricas.

7.11.1. Política energética

En una política energética es importante considerar los sistemas de información socioeconómica y energética, ya que estos definen las directrices para la creación y formulación de planes de gestión. La política energética trata de una política a largo plazo, por ello, sus bases y lineamientos deben ser considerados como una Política de Estado, esto debe realizarse con suficiente

anticipación dado a las lentas inversiones correspondientes a la infraestructura energética.

La formulación de la política requiere un análisis prospectivo en el cual se gestionen escenarios que contemplen la trayectoria y evolución del sistema de energía a nivel del consumo final. Es importante que el Estado formule e incorpore políticas energéticas activas, como:

La importancia del sector eléctrico, el abastecimiento de recursos, necesidades de coordinación del sector energético, aprovechamiento de los recursos naturales, cubrir las necesidades del constante aumento en la demanda, entre otros. Quien se debe encargar y liderar la implementación de nuevas políticas energéticas, es el ente a cargo de la coordinación de actividades en el sector eléctrico. Para definir la política energética también se debe de contar con la predicción de las amenazas, oportunidades, debilidades o fortaleza, para la elección de las líneas estratégicas para cada objetivo.

Se deben de considerar las condiciones del entorno, a esto se le llama reunión-seminario o técnica denominada DAFO, con el objetivo de definir las estrategias con cada objetivo específico. La construcción de la viabilidad de la política energética implica la consideración de la reacción de actores relevantes en las estrategias propuestas, por ello es importante analizar las reacciones potenciales de los principales actores con relevancia social.

7.11.2. Plan energético

Es la clave para guiar de forma correcta actividades y recursos de un sistema energético incluso cuando se tenga un elevado grado de incertidumbre, permite disminuir, proponer, diseñar e identificar opciones más viables para el

éxito del proyecto eléctrico y garantiza la inexistencia del arrepentimiento. Cuando un proyecto eléctrico se presenta ante grandes incertidumbres la flexibilidad es de suma importancia. La gestión no está limitada solamente a establecer decisiones en el presente, sino en estimar el futuro de las decisiones presentes en donde se consideran todos los posibles cambios en su entorno.

La gestión energética es una metodología analítica y sistemática que elige convenientemente la información sobre la demanda, transformación y suministro de energía, por ello garantiza estrategias para alcanzar los objetivos que se deseen cumplir para un proyecto eléctrico.

7.11.3. Desarrollo de un plan energético

Según OLADE (2017), para el desarrollo y gestión de un plan energético eficiente se deben de incluir las siguientes etapas:

- Diagnóstico energético: se requiere de un diagnóstico que recopile las distintas condiciones del entorno en que se desarrollará el proyecto eléctrico, así como, a nivel regional e internacional y las relativas al plano mundial global. De preferencia desea que este abarque un análisis de la situación energética internacional y regional, especialmente en todo aspecto que incide sobre las actividades, situación, y desarrollo del sector energético interno.
- Control energético: se propone construir una agenda energética, donde se puedan identificar y poner énfasis en los objetivos a partir de los problemas determinados en el diagnóstico, en el cual se contemplen los recursos, acciones e instrumentos para el alcance de los objetivos plasmados en el plan.

- Escenarios energéticos y de carácter socioeconómico: sirven para la representación futura para describir la prospectiva energética con la finalidad de reducir el riesgo e inestabilidad en la toma de decisiones. Por medio de esta técnica se asegura la sustentabilidad del proyecto, sabiendo que esta herramienta provee grandes ventajas y es una de las más utilizadas en la planificación energética.
- Política energética, objetivos, estrategias e instrumentos: los objetivos, estrategias e instrumentos, constituyen un elemento primordial y afectarán de forma directa en lo determinado en el proceso de planificación, es fundamental el conocer cómo se estructuran las prácticas de planificación, tales como la sustentabilidad política y ambiental.
- Realización de metas a corto, mediano y largo plazo: definir los objetivos para el presente de un proyecto es importante ya que trazan las pautas e instrumentos que serán utilizados para alcanzar metas cuantitativas y cualitativas en la actualidad del proyecto y como se pretende impulsar el mismo, los objetivos a mediano y largo periodo aportan información relevante que definen los alcances y barreras de los proyectos y delimitan los fallos, brindando rentabilidad a las actividades futuras.
- Prospectiva energética y modelos: la intersección entre estudios futuros, análisis y descripción de políticas públicas y la planificación energética se fundamentan en la prospectiva energética. Con el objetivo de determinar las prioridades gubernamentales y de la región, y del entorno que esté en estudio, todo ello, para promover una mejor conexión con la interacción de decisiones tanto presentes como futuras.

- Estrategias, financiamiento e inversiones: el diseño de estrategias y acciones para alcanzar las metas y objetivos trazados se debe de partir del análisis de escenarios y la perspectiva desarrollada, que se realizan aplicando un conjunto de acciones controladas, supervisadas y ajustadas conforme se van obteniendo los objetivos en cada etapa, de igual forma considerando la rentabilidad de recursos y riesgos basados en las bases de planificación energética.
- Evaluación, revisión y estrategias: para evaluar y controlar la planificación energética se toma como recursos los indicadores de desempeño, mismo que permiten medir de forma cuantitativa y cualitativa el grado de avance en el cumplimiento de metas establecidas dentro de las estrategias planteadas. Esto nos permite determinar si el desempeño se ajusta a lo establecido o si se aparta de lo deseado, de ello, se derivan las instrucciones y procedimientos para la reformulación del análisis, planificación y rediseño de las estrategias y metas.

7.12. Manejo y control de la información energética

Es prioritario que se obtenga información confiable y realista para que a planificación energética sea eficiente, esta información nos debe de permitir conocer el panorama real y actual, es de importancia la calidad de información para el buen planteamiento de escenarios, estrategias que se deseen implementar al igual que para seleccionar la correcta asignación de recursos, política y objetivos.

Por medio de una buena fuente de información nos podremos asegurar si se está promoviendo de forma adecuada el desarrollo sostenible o si se deben

buscar nuevas herramientas. La información confiable es de vital importancia en el proceso de planificación energética.

La información es un conjunto de datos procesados que forman parte de una forma o bien un mensaje, con el objetivo de transmitir una idea al sujeto o sistema que lo recibe, por ello, es esencial adquirir datos, luego procesar los mismo para generar información, que será comunicada al sistema deseado para finalmente se convierta en conocimiento.

7.13. Características de la información energética

Para un mejor entendimiento de la relación que debe y existir entre los sistemas de información y el entorno en que se desarrolle el proyecto, se sugiere estudiar las siguientes dimensiones de la información:

- Física: mayormente incluye datos estadísticos de consumo, pérdidas energéticas, disponibilidad de recursos, recursos naturales, entre otros.
- Económica: datos de inversiones, actividades económicas, información macroeconómica, tasas de interés, tasas de retorno, tarifas, entre otros.
- Ambiental: dentro de esta dimensión importan los datos del medio ambiente, ya que debido a la producción energética surgen factores que afectan al medio ambiente, información, variables de contaminación, flora y fauna, políticas ambientales, entre otras.
- Social: debe contener información importante sobre la sociedad con el fin de evaluar si el desarrollo del proyecto energético brindara resultados o si este será rechazado por la comunidad, ya que se busca que este beneficie

a la sociedad, la comunidad es un pilar importante para la planificación ya que muestran comportamiento y tendencias de consumo energético.

- Política: muchas de las decisiones deben ser basadas en la política, ya que se debe de cumplir lo establecido en ellas, por eso es necesario contar con información precisa, para proponer acciones basadas en el cumplimiento de la política energética.
- Tecnológica: incluye información relevante sobre las nuevas tecnologías, tendencias a implementar en la planificación para lograr un mejor desempeño del proyecto ante sus competidores.
- Legal: leyes regulatorias, marcos legales, dominio público y privado, formuladas por la institución del país.

7.14. Escenarios de gestión eficiente

Los escenarios son la construcción imaginativa, de los resultados estructurales bajo estudio, sirve como guía para plantear decisiones futuras, ayuda a construir estrategias, como también permite la identificación de consecuencias al momento de obtener el rumbo deseado. Al construir escenarios podemos pronosticar el entorno, pero esto presenta cambios de comportamiento en un futuro.

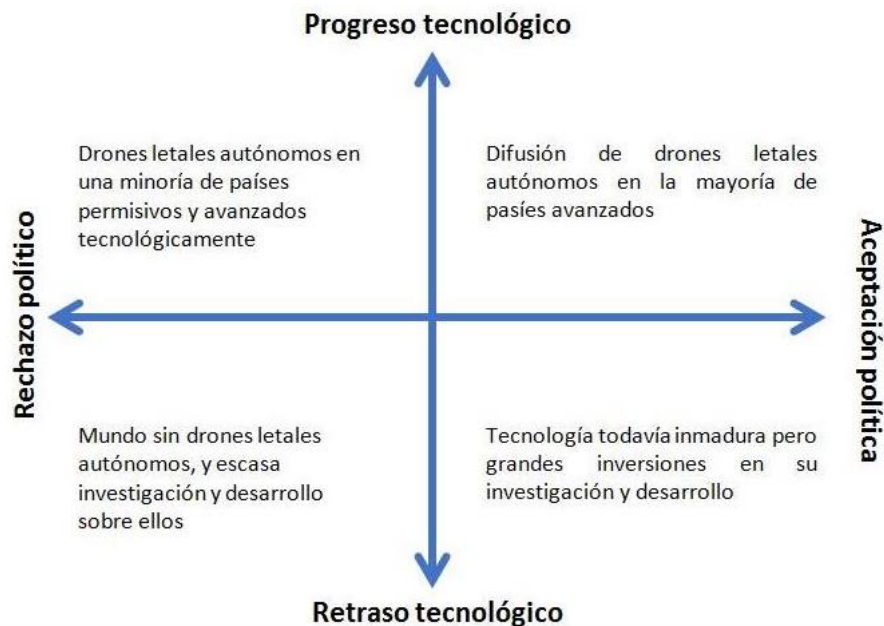
Según Godet (2009), indica que la elaboración de escenarios ofrece muchas ventajas, que parten de una situación determinada, facilita la imaginación de posibles sucesos futuros y la importancia de la tendencia, es necesario considerar el comportamiento y trayectoria de los parámetros en estudio ya que determinan problemas que usualmente no son significativos. Los escenarios no

necesariamente deben ser creíbles o probables, solamente deben ser intrínsecamente consistentes y deben reflejar los objetivos.

7.14.1. Escenarios estratégicos

Estos escenarios surgen debido a métodos de planeamiento estratégico que normalmente permiten formular los planes de un proyecto energético a largo plazo, esto también incluye a factores difíciles de formular, así como las nuevas percepciones sobre el futuro, esta herramienta garantiza la correcta asignación de recursos y reduce el nivel de fracaso de los proyectos y avances en planes energéticos. A continuación, se muestra un modelo para la construcción de escenarios estratégicos:

Figura 3. **Modelo de construcción de escenarios**



Fuente: Jordán (2016). *La técnica de construcción y análisis de escenarios en los estudios de Seguridad y Defensa*. Consultado el 15 de septiembre de 2022. Recuperado de: <https://global->

strategy.org/la-tecnica-de-construccion-y-analisis-de-escenarios-en-los-estudios-de-seguridad-y-defensa/.

7.15. Marco regulatorio

En cuanto al uso racional del agua, no se cuenta con alguna ley específica o departamento dedicado a velar por la correcta gestión de este recurso, sin embargo, existen varias disposiciones contenidas en diversos textos jurídicos que carecen de un concepto rector para el manejo y asignación del agua, tampoco se cuenta con un sistema nacional de planificación y prevención para este recurso.

Algunas leyes que incluyen la protección, integridad y conservación del agua son: Ley de Áreas Protegidas, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Ley Forestal y Calidad de las Aguas Decreto 1004. Las normas vigentes de dominio, propiedad y limitaciones del agua están incluidas en la Constitución Política de la república de Guatemala, entre otros reglamentos.

7.16. Propiciar la eficiencia del uso de agua y energía

El uso correcto y responsable del agua conlleva la implementación de estrategias colaborativas, incluyendo el reciclaje y reutilización, para una mejora tecnológica y una mayor integración de políticas que beneficien a la integridad del agua y de la energía. Fomenta innovaciones tecnológicas y aumentando las oportunidades de inversión económica en energía renovable. Si se propicia la energía y así mismo la eficiencia del agua se aumenta la rentabilidad de los proyectos y se descubren nuevas claves para la expansión de la energía en la región nacional e internacional. Es una herramienta de gran utilidad en el establecimiento de metas globales.

7.17. Promover innovaciones

Es necesario lograr la cuantificación, diversificación e incorporación de la matriz energética a favor de energía limpia renovable y tecnologías que disminuyan los niveles de emisiones de carbono. Se deben crear tecnologías que aprovechen eficientemente los recursos naturales. Las innovaciones tienen un rol destacable para el desarrollo humano. La creación de nuevos proyectos permite el crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y desarrollo social.

7.18. Avance tecnológico

Para lograr un avance tecnológico se necesita de innovaciones, para ello deben ser destacados los incentivos sociales, económicos y ambientales. Las energías renovables representan un importante ahorro energético y mejoran la calidad del agua al tener un correcto control de la contaminación en las plantas productoras. El avance tecnológico es el pilar para la expansión de la electrificación en comunidades marginadas, aumentando las oportunidades de inversión y expansión de la energía eléctrica, garantizando la calidad de vida y evitando la dependencia de organismos internacionales.

7.19. Desarrollo de capacidades

El proceso de creación de capacidades es la clave para el desarrollo sostenible, ya que facilita la solución de problemas energéticos y gestión del agua. Contar con un sistema versátil que asegure la continuidad del suministro eléctrico, es una necesidad evidente en las diversas comunidades del país. Se deben implementar acciones que eviten la escasez del agua, para desarrollar planes de contingencia en caso de sequías debido al cambio climático.

7.19.1. Instrumentos de mejora

Por medio de distintas herramientas el uso del agua logra ser más eficiente, impactando notablemente en la economía y política de Guatemala. Los instrumentos permiten cuantificar y medir el desempeño de proyectos energéticos, entre los más importantes podemos mencionar:

7.19.2. Instrumentos económicos

Para la gestión eficiente del agua y energía la aplicación de instrumentos económicos ayuda en la identificación de los costos de generación, transporte, distribución y comercialización de la electricidad. Cuantifica los gastos de construcción, infraestructura y producción de energía, de esta forma se determina si un proyecto será rentable, al igual que dichos instrumentos nos proporcionan información actualizada para la toma de decisiones y formulación de objetivos. Los aspectos económicos son el principal fundamento para la incorporación de proyectos, que propician acciones para establecer la correcta asignación y planificación de los recursos energéticos.

7.19.3. Instrumentos de política

Estos instrumentos rigen las bases legales e inciden en el crecimiento económico, promoviendo el uso consciente de agua y energía. Contribuyen estipulando normas para garantizar la conservación del agua, aprovechando los beneficios de este recurso, sin poner en riesgo la calidad de vida para futuras generaciones. Son importantes las herramientas políticas ya que proveen estrategias de seguimiento, monitoreo y evaluación en los sectores públicos y privados que desempeñan actividades que involucran el uso del agua. Propician la creación de leyes para mejorar la eficiencia en la asignación de recursos,

considerando su impacto ambiental y regulan el precio de la energía entregada al consumidor.

7.19.4. Herramientas de evaluación

Las herramientas de evaluación proveen un enfoque integrado para crear incentivos que impulsen los recursos renovables y su actividad económica, se debe tener una constante evaluación de los parámetros que facilitan el uso del agua. Para cuantificar los parámetros se emplean varias técnicas como la evaluación de recursos, evaluaciones estratégicas medioambientales, análisis del ciclo de vida del agua y otras herramientas capaces de reforzar el uso eficiente de este recurso en las diferentes etapas de almacenamiento, producción y distribución de energía.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Centrales hidroeléctricas

2.2 Historia de hidroeléctricas en Guatemala

2.3 Actualidad sobre las hidroeléctricas en Guatemala

2.3.1 Características de una central hidroeléctrica

2.3.2 Tipos de centrales hidroeléctricas

2.3.2.1 Central de agua fluyente

2.3.2.2 Central con embalse o de regulación

2.3.2.3 Central de acumulación por bombeo

2.3.2.4 Centrales a filo de agua

2.3.3 Clasificación de las hidroeléctricas

2.3.4 Funcionamiento

2.3.5 Partes de una central hidroeléctrica

2.3.6 Potencia en una central hidroeléctrica

- 2.4 Aportes de la generación hidroeléctrica
 - 2.4.1 Ventajas de la generación hidroeléctrica
 - 2.4.2 Desventajas de la generación hidroeléctrica
- 2.5 Impacto ambiental
- 2.6 Instituciones reguladoras
 - 2.6.1 Ministerio de Energía y Minas (MEM)
 - 2.6.2 Comisión Nacional de Energía eléctrica (CNEE)
 - 2.6.3 Administrador del Mercado Mayorista (AMM)
 - 2.6.4 Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

- 3. RECURSO ENERGÉTICO HIDROELÉCTRICO
 - 3.1 Calidad del agua y desarrollo sostenible
 - 3.2 Características del agua
 - 3.2.1 Físicas
 - 3.2.2 Químicas
 - 3.3 Agua y su uso en generación
 - 3.3.1 Relación entre el agua y la energía
 - 3.3.2 Flexibilidad y eficiencia del agua
 - 3.4 Potencial energético del agua
 - 3.4.1 Matriz energética
 - 3.4.1.1 Participación de energía hidráulica
 - 3.4.2 Características de la demanda
 - 3.4.2.1 Margen de reserva
 - 3.5 Propuesta de gestión
 - 3.5.1 Política energética
 - 3.5.2 Plan energético
 - 3.5.3 Desarrollo de un plan energético
 - 3.6 Manejo y control de la información energética
 - 3.7 Características de la información energética

- 3.8 Escenarios de gestión eficiente
 - 3.8.1 Escenarios estratégicos
- 3.9 Marco regulatorio
- 3.10 Favorecer la eficiencia en el uso del agua y la energía
- 3.11 Fomento de innovaciones
- 3.12 Desarrollo tecnológico
- 3.13 Desarrollo de capacidades
 - 3.13.1 Instrumentos para la mejora
 - 3.13.2 Instrumentos económicos
 - 3.13.3 Instrumentos de política
 - 3.13.4 Herramientas de evaluación

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICE

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño de investigación

En la investigación se utilizará un diseño no experimental descriptivo, ya que se estarán abordando y estableciendo las bases para crear una propuesta de gestión eficiente, al igual que se determinarán un conjunto de acciones que faciliten el uso del recurso hidroeléctrico y que a su vez se aproveche al máximo su potencial para generación eléctrica, controlando el impacto ambiental de este tipo de energía renovable.

Por ello, la investigación será de tipo descriptiva, dado que se exponen y fundamentan las bases teóricas y se plantean las directrices por medio de herramientas de gestión para potencializar la inclusión de proyectos de energía renovable haciendo uso del agua como fuente natural.

Hernández (2014), indica que una investigación no experimental es la que se obtiene sin necesidad de manipular o controlar deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los no se deben variar en forma intencional las variables en estudio para apreciar su efecto sobre otras variables. Lo que constituye una investigación no experimental es observar y analizar fenómenos tal como se dan en su contexto natural.

Se emplea un paradigma interpretativo y sociocrítico para seleccionar, diseñar y establecer las principales estrategias de gestión en base a los datos e información obtenida de las diferentes centrales hidroeléctricas. Dicha

información será evaluada para identificar las áreas de mejora y así proponer mecanismos que aporten soluciones a la problemática.

9.2. Tipo de estudio

La investigación hace uso de un enfoque de investigación mixto, dado que se recolectarán datos históricos acerca de la generación y consumo de energía eléctrica en distintas centrales hidroeléctricas. Dichos datos serán cuantificados y clasificados con el objetivo de identificar los principales mecanismos, acciones y estrategias que garanticen el uso racional y eficiente del agua.

Según Hernández (2014), los métodos mixtos son un conjunto de procesos de carácter sistemático, crítico y empírico de una investigación que implican la recolección y el análisis de datos cualitativos y cuantitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recopilada, logrando aumentar los niveles de entendimiento del fenómeno bajo estudio.

9.3. Alcance

Al pretender describir el problema presentado por la escasez de conocimientos, inexistencia de leyes regulatorias y falta de interés en el uso eficiente del recurso hidroeléctrico, al igual que describir y diseñar estrategias como una propuesta para la solución a dicha problemática, le atribuyen a esta investigación un alcance Descriptivo.

Con esta investigación se pretende medir o recopilar información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos y variables que intervienen en el uso responsable del agua, no se pretenden relacionar las variables medidas

ya que por medio de los resultados se describirán los factores y causas que lo provocan este inconveniente.

Con base en los resultados se obtendrá una propuesta de gestión eficiente del recurso hidroeléctrico, lo cual es característico de un alcance descriptivo. La investigación a la vez, alcanzará un nivel de profundidad en cuanto a temas y herramientas de gestión que en su mayoría son enfocados en la región guatemalteca, es decir, la investigación tendrá mayor impacto y servirá de guía en las distintas centrales hidroeléctricas, esto no significa que no posea relevancia en países de Latinoamérica ya que la mayoría de procesos son de gran similitud, al igual que los temas contemplados a desarrollarse en la presente investigación serán descritos de manera general, lo cual hace aplicable el contenido de la investigación a nivel global.

9.4. Variables e indicadores

Las variables para estudiar durante el desarrollo de esta investigación serán las que se indican a continuación:

- Recurso energético hidroeléctrico
- Eficiencia en el uso del agua
- Potencial energético y calidad del agua
- Impactos al medio ambiente derivados de la generación hidroeléctrica
- Herramientas y estrategias de gestión eficiente

Todas las variables indicadas anteriormente son de tipo cuantitativo, cualitativo e independientes. Al analizarlas y correlacionarse permitirán realizar el análisis de los resultados para la propuesta de gestión.

9.5. Fases del estudio

A continuación, se describirán cuatro fases del estudio que serán aplicadas durante el desarrollo de la investigación. Se realizará por medio de recolección de información, datos y entrevistas al personal y autoridades de una central hidroeléctrica.

9.5.1. Fase 1: exploración bibliografía

En la primera fase se realizará una recopilación y clasificación de datos históricos sobre la generación de energía hidráulica en Guatemala. Con dichos datos se logrará determinar la importancia del recurso hidroeléctrico y su contribución en la disminución de los niveles de contaminación, al igual que se describe su participación en la actual matriz energética. Se obtendrá información que permita identificar las principales características y propiedades del agua. En esta fase se pretende establecer las bases teóricas para lograr proponer nuevas políticas y planes estratégicos para la mejora en el uso del agua.

9.5.2. Fase 2: evaluación de la información

Esta fase tiene como objetivo evaluar la información recopilada para posteriormente realizar un análisis de los parámetros que influyen en la incorrecta gestión del agua. En esta fase se evaluará el proceso de obtención, producción y reutilización de dicho recurso en las distintas centrales hidroeléctricas. Lo cual permitirá detectar fallos e ineficiencias en el proceso de generación. Por último, en esta fase se evaluará la información obtenida por medio de encuestas realizadas al personal y autoridades en las principales plantas de producción, dicha información será de utilidad para identificar puntos clave en la mejora, control y asignación de recursos energéticos.

9.5.3. Fase 3: análisis y planteamiento de alternativas

Después de evaluar la información e identificar los fallos ocasionadas por la incorrecta gestión del recurso hidroeléctrico, es necesario proponer alternativas para garantizar la correcta planificación de dicho recurso, por ello en esta fase se realizará un análisis de posibles estrategias a través de escenarios energéticos que mitiguen los efectos negativos causados por uso irresponsable del agua. Dichas alternativas serán evaluadas para finalmente ser incluidas en un plan de gestión.

9.5.4. Fase 4: propuesta de plan de gestión eficiente

Luego de creadas las alternativas, en esta fase se tiene como objetivo el diseñar y proponer un conjunto de acciones en un plan de gestión eficiente que permite aprovechar al máximo el potencial energético del agua, y a su vez propicie la expansión de la energía eléctrica en áreas rurales, para contribuir directamente en el desarrollo sostenible del país. En esta fase se trabajará una propuesta para eficientar los procesos de generación brindando una solución a la problemática, también se trabajará en alternativas que mitiguen la contaminación ambiental producida por este tipo de energía renovable y que eviten la destrucción de los ecosistemas.

9.6. Resultados esperados

Con esta investigación se espera tener como resultado una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala, que permita desarrollar un conjunto de acciones que faciliten el uso adecuado y racional del agua, al igual que evidenciar la relación existente entre el desarrollo sostenible y el uso eficiente de dicho recurso, y así concientizar a las autoridades de generar

leyes que velen por la protección y conservación de esta fuente de energía natural.

Se pretende obtener y analizar el comportamiento del potencial energético del agua para satisfacer las necesidades de la población. Por medio de un estudio evidenciar las áreas de mejora y puntos clave para potencializar la generación de energía eléctrica y así proveer de electricidad a las comunidades rurales quienes no cuentan con este servicio ni con las oportunidades de avance humano, económico e industrial que dicho servicio conlleva.

También se espera como resultado el propiciar la expansión de la electrificación rural. De esta forma evidenciar la importancia del aprovechamiento del potencial energético del agua e implementar herramientas y estrategias que permitan mitigar los niveles de contaminación ambiental durante el proceso de generación eléctrica, y proporcionar así un conjunto de estrategias de gestión eficiente que sean utilizadas como guía en las distintas centrales hidroeléctricas, garantizando la inclusión de futuros proyectos de energía renovable para aportar considerablemente en la mejora de la calidad de vida humana.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La investigación se basará en técnicas de estadística descriptiva, iniciando con la recolección y clasificación de datos históricos sobre el recurso energético hidroeléctrico en Guatemala. Por medio de herramientas de control, manejo y caracterización de la información energética con énfasis en el fomento de innovaciones, desarrollo tecnológico, económico e instrumentos de política, así como la creación de planes y escenarios estratégicos para un mejor aprovechamiento del agua.

Para la exploración bibliográfica se acudirá a fuentes confiables de información, será almacenada en el programa Microsoft Word, haciendo uso de tablas dinámicas, de esta forma se determinará la relevancia del recurso anteriormente mencionado y su impacto medioambiental, evidenciando su actual participación en la matriz energética y se indagará en las bases teóricas que hacen eficiente el proceso de producción.

Se evaluará la información recopilada y será analizada por medio de Microsoft Excel, se identificarán los posibles fallos e ineficiencias en el proceso de generación. Los parámetros influyentes serán ordenados y representados por medio de diagramas de barra. Se realizarán encuestas para confirmar que los parámetros identificados sean los que mayor influencia poseen en esta problemática, la información recopilada de las encuestas será transformada por medio de gráficos de Excel.

Con la ayuda de herramientas estadísticas como el análisis correlacional, reglas de asociación y medidas de tendencia central, se logrará describir la

relación existente entre las variables en estudio. Habiendo interpretado la información e identificado los parámetros, se procederá con el planteamiento de las propuestas, para definir el conjunto de algoritmos y mecanismos a ser planteados.

Por último, se analizarán las propuestas diseñadas y se seleccionarán por medio de indicadores estadísticos y asesoría profesional las mejores alternativas de gestión para evitar el uso irresponsable del agua en las centrales hidroeléctricas. El conjunto de acciones propuesto será presentado haciendo uso de herramientas visuales para un mejor entendimiento de la información.

11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta la organización cronológica para la elaboración de la propuesta final que da solución al problema de investigación, estará organizado por semanas, abarcando un total de 26 semanas, desde el inicio del estudio hasta la presentación del informe final.

Figura 4. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La presente investigación es viable debido a que se tiene la ayuda de distintos recursos. El investigador cuenta con las capacidades intelectuales y el tiempo necesario que requiere el proceso investigativo, entre los recursos humanos también se cuenta con la experiencia y dirección profesional por parte del asesor. En cuanto a los recursos tecnológicos se posee acceso a internet, equipo de cómputo e impresión. Se dispone de las herramientas necesarias para la consulta bibliográfica de forma física y remota. No se posee ningún apoyo económico externo, así que el estudio será completamente financiado por el investigador. A continuación, se muestran los costos de la investigación:

Tabla I. **Costo del estudio**

Tipo	Recurso	Costo
Humano	Asesor	Q. 500.00
Tecnológico	Licencias para software (programas)	Q. 800.00
Tecnológico	Memoria USB	Q. 125.00
Tecnológico	Servicio de telefonía e internet	Q. 2,200.00
Tecnológico	Computadora personal	Q. 1,100.00
Tecnológico	Equipo de computo	Q. 800.00
Tecnológico	Equipo de impresión	Q. 3,500.00
Material	Hojas y cartuchos de tinta recargable	Q. 1,000.00
Material	Pizarra y marcadores	Q. 400.00
Material	Lapiceros, resaltadores y demás utensilios	Q. 350.00
Material	Combustible y alimentación (viáticos)	Q. 2,800.00
Material	Escritorio para el equipo de computo	Q. 600.00
Material	Gastos imprevistos	Q. 375.00
	TOTAL	Q. 14,550.00

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

1. Aguilera, F. y Alcántara, V. (1994). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. España: Icaria.
2. Baptista, P., Hernández, R., y Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Education.
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (8 de julio 2022). *Matriz energética*. CNEE. Recuperado de: <https://www.cnee.gob.gt/wp/matriz-energetica/>.
4. Cruz, C., Lara, E., y Ramírez, B. (2018). Gestión socioambiental sustentable en la comunidad Ixil de Chel, Chajul, Quiché, Guatemala. *Economía y Sociedad*, 23(53), 103-126. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/eys/v23n53/2215-3403-ey-23-53-103.pdf>.
5. Diaz, J. (2009). La eficiencia técnica como un nuevo criterio de optimización para la generación hidroeléctrica a corto plazo. *Revista de la Universidad Nacional de Colombia*, 76(157). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/9556/11482>.
6. Godet, M. y Durance, P. (2009). *La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios*. Estados Unidos: Ediciones DUNOD. Recuperado de: <https://administracion.uexternado.edu.co/matdi/clap/la%20prospectiva%20estrategica.pdf>.

7. Guastay, W., y Llanes, A. (2020). El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador. *Revista Universidad Internacional SEK*, 24(104), 28-35. Recuperado de: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/363/751/>.
8. Guerra, L., y Guillén, J. (2021). *Leyes de Eficiencia Energética en Latinoamérica y el Caribe*. Quito, Ecuador: OLADE. Recuperado de: <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2022/02/LEYES-espanol-digital.pdf>.
9. Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. (Tesis de licenciatura). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica. Recuperado de: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>.
10. Ingeoexpert. (22 de marzo de 2018). *¿Cómo funciona una central eléctrica?* Ingeoexpert. Recuperado de: <https://ingeoexpert.com/2018/03/22/como-funciona-una-central-hidroelectrica/>.
11. Jordán, J. (28 de septiembre de 2016). *La técnica de construcción y análisis de escenarios en los estudios de Seguridad y Defensa*. Global Strategy. Recuperado de: <https://global-strategy.org/la-tecnica-de-construccion-y-analisis-de-escenarios-en-los-estudios-de-seguridad-y-defensa/>.

12. Loboguerrero, J. (2016). *Pequeñas centrales Hidroeléctricas*. (Tesis de licenciatura). Universidad de los Andes, Argentina. Recuperado de <https://doi.org/10.16924/revinge.44.9>.
13. Ministerio de Energía y Minas (12 de marzo de 2019). *Política energética 2019-2050*. MEM. Recuperado de: <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-hidraulica/>.
14. Ministerio de Energía y Minas (s.f.). *Energía hidráulica*. MEM. Recuperado de: <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-hidraulica/>.
15. Molina, W. (2012). *Hidroenergía: conflicto y solución a una necesidad de país*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Digi-Usac. Recuperado de: <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/informes2012/INF-2012-08.pdf>.
16. OLADE. (3 de agosto de 2017). *Manual de Planificación Energética*. OLADE. Recuperado de: https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/03/Manual_Planificacion_Energetica_Espanol_Final22-05-2017.pdf.
17. Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Agua y desarrollo sostenible | Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015*. Ginebra, Suiza: Recuperado de: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml.

18. Sapag, R., y Sapag, N. (1990). *Preparación y evaluación de proyectos*. México: McGraw-Hill.

19. Severiche S. (noviembre 2013). *El agua y la generación de energía en entornos de sostenibilidad*. *Escuela de Ingenierías y Arquitectura*, 9(1), 6. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4762995>.

20. Skarwan, D. (2011). Las Hidroeléctricas deben contribuir para un desarrollo territorial sostenible. *Red iberoamericana de economía ecológica*. 16/17, 65-81. Recuperado de: <https://ddd.uab.cat/record/81332>.

21. UNEP. (julio 2014). *Eficiencia en el uso del agua y la energía*. Conferencia anual de la ONU realizada en Zaragoza, España. Recuperado de: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/01_2014_water_energy_efficiency_spa.pdf.

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Uso ineficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala.	Desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala.	Centrales Hidroeléctricas . Actualidad sobre las hidroeléctricas en Guatemala.			
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS				
¿Cómo desarrollar una propuesta de gestión eficiente del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala?	<ul style="list-style-type: none"> ● Proponer un conjunto de acciones que faciliten el uso adecuado del recurso energético hidroeléctrico en Guatemala. 	Características de una central hidroeléctrica. Potencia en una central hidroeléctrica. Aportes de la generación hidroeléctrica.			
PREGUNTAS SECUNDARIAS					
<ul style="list-style-type: none"> ● ¿Qué relación existe entre la correcta gestión del recurso hidroeléctrico en el desarrollo sostenible de Guatemala? ● ¿Cómo se satisfacen las necesidades de la población guatemalteca con la utilización del potencial energético del agua? ● ¿Qué importancia tiene el aprovechamiento del agua para evitar la contaminación ambiental en el proceso de generación de energía eléctrica en Guatemala? 	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecer la relación que existe entre el desarrollo sostenible y el uso eficiente del recurso hidroeléctrico en Guatemala. ● Analizar el comportamiento del potencial energético del agua para satisfacer las necesidades de la población guatemalteca. ● Determinar la importancia del aprovechamiento del agua y su impacto ambiental durante el proceso de generación de energía eléctrica en Guatemala. 	Calidad del agua y desarrollo sostenible. Matriz energética. Participación de energía hidráulica. Propuesta de gestión. Desarrollo de un plan energético. Manejo y control de la información energética. Escenarios estratégicos.	El presente trabajo de investigación no comprobará hipótesis.	Recurso energético hidroeléctrico Potencial energético y calidad del agua. Herramientas y estrategias de gestión eficiente.	Eficiencia en el uso del agua. Impactos al medioambiente derivados de la generación hidroeléctrica.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.