



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÁULICO DE
GENERACIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE
JALAPA**

Sergio Armando Alvarado Cruz

Asesorado por MSc. Ing. Víctor Manuel de León Contreras

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÁULICO DE
GENERACIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE
JALAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ARMANDO ALVARADO CRÚZ

ASESORADO POR MSC. ING. VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio I. González Podszuek
EXAMINADOR	Ing. Sergio Giovanni Gatica
EXAMINADOR	Ing. José Antonio Cámara
EXAMINADOR	Ing. Francisco Gómez Rivera
SECRETARIO	Ing. Francisco J. González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÁULICO DE GENERACIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JALAPA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 18 de noviembre de 2017.


Sergio Armando Alvarado Cruz

Guatemala, 19 de junio de 2018.

Director
Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Escuela de Ingeniería Industrial
Presente.

Estimado Director:

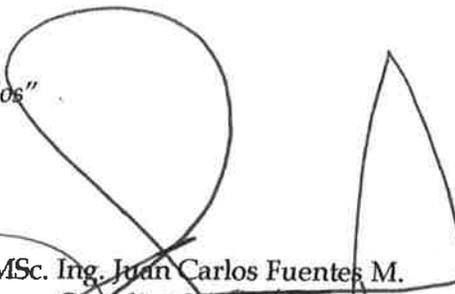
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Sergio Armando Alvarado Cruz** carné número **8912165**, quien opto la modalidad 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 Energía y Ambiente**.

Y si 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 Decimo, 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.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Víctor Manuel de León Contreras
Asesor (a)


MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

VICTOR MANUEL DE LEON CONTRERAS
INGENIERO ELECTRICISTA COL. 7839
FORM. Y EVALUAC. DE PROYECTOS

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Redinas
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc: archivo/LZ.LA.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF.DIR.EMI.136.018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÁULICO DE GENERACIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JALAPA**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Armando Alvarado Cruz**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR**

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2018.

/mgp



Universidad de San Carlos
de Guatemala

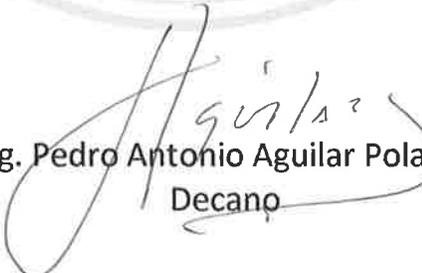


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 360.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÁULICO DE GENERACIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CIUDAD DE JALAPA**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Armando Alvarado Cruz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, septiembre de 2018

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque todo lo que soy y todo lo que tengo se lo debo a Su amor.
Mi padre y madre	Por su cariño, dedicación y apoyo en las buenas y en las malas, por la confianza depositada en mí y como un premio a sus esfuerzos. ¡Gracias!
Mi hermana	Patricia Alvarado, por su apoyo incondicional.
Mi familia	Noly, Jorge, Abigail, como un ejemplo de perseverancia ante todas las adversidades.
Mis amigos	Por el apoyo y compañía en los momentos importantes para mi vida, tanto buenos como malos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Mi creador y sustentador que me permite alcanzar este triunfo.
Guatemala	Mi patria, tierra que me permitido desarrollarme.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de culminar mis estudios en ella.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante fuente de conocimiento y contribuir en mi crecimiento profesional y personalmente.
Mi familia	Mi esposa e hijos que apoyaron este esfuerzo que hoy da sus frutos.
Mis amigos	Por la compañía, el ánimo y apoyo que me brindaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. OBJETIVOS.....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO	19
7.1. Energía.....	19
7.1.1. Energía potencial.....	19
7.1.2. Energía cinética.....	20
7.1.3. Energía mecánica.....	21
7.2. Cálculo de energía potencial y cinética	21
7.3. Caudal.....	22
7.3.1. Cálculo de caudal	22
7.4. Energía eléctrica.....	23
7.4.1. Generación de electricidad.....	23
7.5. Recursos para generar electricidad.....	24
7.5.1. Recursos renovables	24
7.5.2. Recursos no renovables	25
7.6. Generación de energía hidroeléctrica.....	25
7.6.1. Generadores.....	26
7.6.1.1. Generador síncrono.....	26
7.6.1.2. Generador asíncrono.....	26

7.6.2.	Turbinas.....	27
7.6.2.1.	Turbinas Pelton.....	27
7.6.2.2.	Turbinas Francis.....	28
7.6.2.3.	Turbinas Kaplan.....	28
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	29
9.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	35
11.	CRONOGRAMA.....	37
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	39
13.	CONCLUSIONES	
14.	RECOMENDACIONES	
15.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
16.	APÉNDICES	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Matriz energética.....	7
2.	Cronograma de actividades	37

TABLAS

I.	Lista de costos	39
----	-----------------------	----

GLOSARIO

Desarrollo sostenible	Desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones.
Energía limpia	La energía limpia es un sistema de producción de energía que deja a un lado cualquier elemento de contaminación que sea peligroso para el planeta.
Efecto invernadero	Fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmosfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite al haber sido calentado por la radiación solar.
Cambio climático	El cambio climático es un cambio en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo.
Turbina	Máquina que consiste en una rueda en el interior de un tambor provista de paletas curvas sobre las cuales actúa la presión de un fluido haciendo que esta gire.
Generador eléctrico	Dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica.

Extrapolar	Aplicar una cosa conocida a otro dominio para extraer consecuencias e hipótesis.
CNEE	La Comisión Nacional de Energía Eléctrica es un agente estatal del Gobierno de Guatemala, dedicado a regular y dirigir el desarrollo de las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país.
Agua cruda	Se llama así toda agua que entra en las plantas de tratamiento.
Estudio topográfico	Determinar la posición relativa entre varios puntos sobre un plano horizontal, es decir define las inclinaciones del terreno.
Luminoso	Algo que emite luz propia o artificial; comprendiendo que la luz es una energía que permite que percibamos los objetos a través del sentido de la vista.
Térmico	Relativo a la temperatura o el calor energía térmica.
Magnético	Qué tiene la propiedad de atraer los metales.

1. INTRODUCCIÓN

Durante años Guatemala ha dependido, para la generación de energía, cuya demanda crece cada día, de recursos no renovables como los combustibles fósiles. Esto es un verdadero problema, tanto para el país como para el medio ambiente. Para el aprovechamiento de la energía que se posee es necesaria la combustión, este proceso de generación de energía ha provocado un sinnúmero de consecuencias, destacándose la emisión de gases de efecto invernadero, lo que ha acelerado el fenómeno que se conoce como cambio climático.

La utilización de combustibles fósiles como fuente principal de la generación de energía ha tenido un impacto negativo en la economía del país ya que, al no ser autosuficiente en la producción de carburantes, se depende de otros países para el abastecimiento de dichos combustibles, estando sujetos a los precios que ellos imponen para su compra.

Este fenómeno está provocando cambios en el planeta, los cuales amenazan la vida tal cual se conoce hasta ahora. Por esto muchos investigadores alrededor del mundo están trabajando para encontrar la manera de generar energía por medio de recursos que sean renovables y su utilización no contribuya a aumentar o acelerar el cambio climático.

Este trabajo es el diseño de investigación para determinar si se tiene potencial energético que, combinado con la tecnología aplicada a la planta de potabilización de agua de la ciudad de Jalapa, puedan contribuir a disminuir la

dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

El estilo de vida actual demanda una gran cantidad de energía eléctrica, por sus características esta se utiliza para satisfacer las diversas necesidades de la humanidad, pero para su generación se depende en gran manera de recursos no renovables y los procesos de generación de este tipo no son amigables con el ambiente.

Muchos investigadores están estudiando la forma de utilizar los recursos renovables, entre ellos la energía que el movimiento del agua produce. Dentro de estos estudios los investigadores han encontrado factible la utilización de los caudales de agua potable para la generación de energía eléctrica. La planta de potabilización de agua en la ciudad de Jalapa se encuentra ubicada en una de las partes más elevadas de la ciudad, lo que da lugar a que el agua tratada pueda ser distribuida por acción de la fuerza de la gravedad.

Este es un estudio de factibilidad en que se obtendrá información que será de suma importancia, ya que las conclusiones que se obtengan de este trabajo podrán motivar a realizar acciones que beneficien a la población no solo de la Ciudad de Jalapa, sino que la réplica de este trabajo puede ayudar a muchas comunidades en donde las condiciones sea adecuadas para obtener energía eléctrica que satisfaga las necesidades locales o, si hay potencial para que sea distribuida, con los beneficios que trae el uso de recursos renovables para su generación (contribuir al mantenimiento del medio ambiente, abaratar los costos de generación).

Se realizará estudios topográficos para determinar la diferencia de nivel que permita calcular la energía potencial que el agua posee en la planta y los

datos históricos de los caudales surtidos a la ciudad permitirán estimar el potencial de generación de energía eléctrica que se posee en las instalaciones.

En otros países ya se está aprovechando este recurso, en este estudio se investigará cuál de estas tecnologías es la más adecuada para aprovechar el potencial que se pueda tener según los datos arrojados por la investigación.

Este trabajo se presentará en tres capítulos. En el primero de ellos se incluirá la teoría que sirve de fundamento para la realización de la investigación. En la segunda parte se presentarán los resultados que se obtengan de la investigación a realizar, estos resultados son importantes, ya que son la base para el último capítulo, en que se hará una discusión de los resultados obtenidos, información que permitirá determinar si las instalaciones tienen el potencial de generación de energía eléctrica, por medio del potencial hidráulico que las instalaciones poseen.

2. ANTECEDENTES

Todos los guatemaltecos y las instituciones de gobierno tienen un compromiso con el desarrollo sostenible del país, de forma que la generación de energías limpias viene a ser parte de la contribución que cada ciudadano puede hacer a este desarrollo. (Constitución Política de la República de Guatemala, 1993).

Con respecto a la generación de energía y el medio ambiente el artículo 97 de la Constitución Política de Guatemala indica:

“El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando la depredación.

“La generación de energía eléctrica por medio de recursos hidráulicos tiene amplio espacio en este sentido ya que es una de las formas de generar energía más amigable con el medio ambiente y que genera un nulo impacto en la emisión de gases de efecto invernadero, en este aspecto esta investigación estaría cumpliendo con un mandato constitucional”. (Constitución Política de la República de Guatemala, 1993, pág. 19).

Mencionado el tema de la conservación de la naturaleza se puede decir que el descuido de la misma está haciendo que se viva el fenómeno llamado

cambio climático. Este fenómeno provoca en esta región las sequías prolongadas que están asociadas a los efectos del fenómeno denominado El Niño, el cual afecta el territorio guatemalteco, y la cantidad de agua que cae por la lluvia irá disminuyendo. Se menciona esto debido a que el caudal de agua en los ríos es proporcional a la cantidad de agua llovida. La proyección es a que las lluvias en esta región disminuyan en un 5,5 % para el año 2020, dato que debe tomarse en cuenta en los cálculos de esta investigación. (Barquín, 2010)

La implementación de turbinas que conecten con generadores de energía eléctrica es tema que fue estudiado en otros países y que fue presentado por Martín (2013), en la Universidad de Rioja de España. Con base en estos estudios es posible realizar una aplicación de los mismos para la ciudad de Jalapa, en donde, por la ubicación de la planta de potabilización de agua, aparentemente se dan las condiciones necesarias para la implementación de este proyecto.

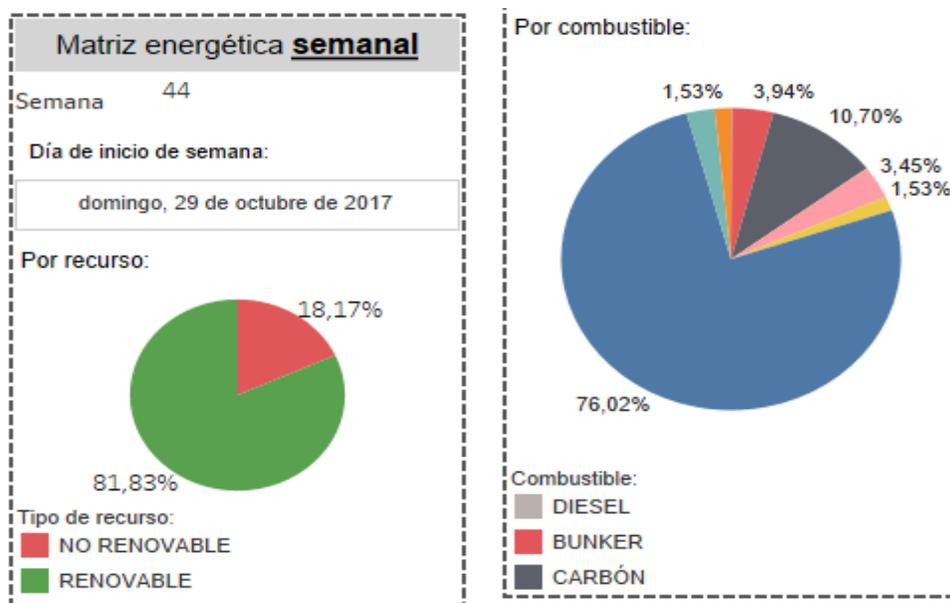
En su tesis de maestría, Sanz (2013) realizó un estudio para determinar la viabilidad de la utilización de los caudales de agua potable de la ciudad de Barcelona para la producción de energía eléctrica. En este estudio se determinó que el proyecto es viable y recomienda extrapolar su investigación a otras ubicaciones donde se encuentre potencial para el aprovechamiento de dicho recurso.

Guatemala es un país donde los conflictos sociales, culturales y económicos obstruyen la utilización de los recursos naturales renovables para la generación de energía eléctrica, esto ha propiciado que todavía se tenga un alto porcentaje de la generación de energía eléctrica por medio de recursos no renovables. El 29,84 % de la energía se da por medio de recursos no renovables, según anuncio de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica

(CNEE), en el primer trimestre del año 2017, dato que con el potencial que el país tiene en recursos renovables debería ser más bajo, si fuera aprovechado de mejor manera (CNEE, 2017).

En la gráfica siguiente se encuentra la matriz energética de Guatemala, la cual muestra un cambio significativo en la generación de energía eléctrica, mostrando que para la semana No. 44 del año 2017, influenciado por el copioso invierno, se ha incrementado el uso de recursos renovables, especialmente el hídrico, lo que ha permitido reducir en buena medida el uso de recursos no renovables para la generación de energía (CNEE, 2017).

Figura 1. **Matriz energética**



Fuente: *Matriz energética*. www.cnee.org.gt. Consulta: noviembre de 2017.

Las turbinas que se utilizan para la generación de energía eléctrica son en su estructura similares a las que se utilizan en las bombas que impulsan el agua

potable para su distribución en los lugares donde no puede utilizarse la fuerza de la gravedad. En algunos casos se han utilizado en forma inversa a su acción normal, es decir estas turbinas conectadas a generadores eléctricos y, en vez de impulsar el agua, han sido movidas por ella, lo que ha permitido obtener energía eléctrica de estas corrientes, lo cual según Víctor Sanz no altera las propiedades del agua. Esta afirmación aumenta la viabilidad de la presente investigación. (Sanz, 2013)

En la ciudad de Quito, Ecuador, la empresa Agua de Quito (EPMAPS) viene manejando desde el año 1990 proyectos para la generación de energía eléctrica, utilizando el caudal de agua cruda. El proyecto fue tan exitoso que pronto entraron en funcionamiento otras centrales hidroeléctricas que utilizan también aguas ya tratadas para la generación de energía eléctrica. Este dato es de suma importancia, ya que el caudal de agua que se pretende utilizar en la planta de tratamiento de agua de Jalapa es el agua ya tratada (EPMAPS, 2017).

Para la generación de energía eléctrica mediante el caudal de agua se debe considerar ciertas condiciones que permitirán obtener el mejor rendimiento de las instalaciones donde se planifica generar la energía eléctrica, entre ellas es importante tomar en cuenta el aprovechamiento de la mayor caída de agua que las instalaciones permitan. Esta caída, de forma empírica, es posible decir que tiene potencial para generar energía eléctrica, lo cual se determinará mediante un estudio topográfico de la misma (Galván, 2010).

La utilización de la energía cinética del agua no es una cuestión nueva. Desde la antigüedad los hombres han utilizado esta fuente de energía en diversas maneras, ya sea para transportarse o trasportar carga, así como para mover ruedas dentadas o con aspas, las cuales transforman esta energía en

energía mecánica. Esto a su vez permite accionar diferentes mecanismos de utilidad para la humanidad, tales como molinos y generadores de energía eléctrica. (Fajardo, 2009)

En este tipo de generación de energía eléctrica es recomendable la utilización de generadores de corriente directa, ya que esto permite que la eficiencia en la producción no tenga altas variantes debido a los cambios en el caudal de agua que pudieran darse, ya que este es regulado según las necesidades de agua de la población a la que se sirve. (Fajardo, 2009). Las turbinas para convertir la energía cinética del agua a energía mecánica que pueda ser aprovechada para mover el generador de energía eléctrica es recomendable que sean de tipo de impulso, como las turbinas Peltón, estas permiten mantener la eficiencia del funcionamiento aunque el caudal de agua disminuya. Las turbinas tipo Peltón pueden ser de plástico. Los estudios hechos por Fajardo (2009) son fundamentales para esta investigación, ya que proveen información acerca de los tipos de dispositivos que pueden utilizarse para la generación de energía eléctrica en las condiciones que se presentarán en este trabajo. (Fajardo, 2009)

Este tipo de proyectos se ven incentivados por el gobierno de Guatemala, ya que la generación de energías limpias es uno de los objetivos que las políticas ambientales y energéticas tienen como acciones prioritarias para el desarrollo del país. (Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, 2003)

Esta investigación propone evaluar el potencial que las instalaciones tienen sin hacer una remodelación profunda de las mismas, esperando como principal objetivo que este potencial supla las necesidades mismas de la planta. Si se contara con el potencial que excediera las necesidades propias se podría

proponer la conexión a la red de distribución local. La distribuidora está obligada a permitir la conexión, pero el productor debe cumplir con los requerimientos de ley para poder hacerlo. (Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía, 2014)

En la ciudad de Portland, Estado de Oregón, Estados Unidos, Lucid Energy está instalando turbinas generadoras de electricidad en la tubería de la red de distribución de agua potable para la generación de energía eléctrica. Estas turbinas pueden colocarse en serie, lo que permite maximizar el aprovechamiento del caudal de agua para la generación de energía eléctrica. Mas esta no es la única empresa y ciudad que está implementado esta tecnología, ya que en Utah y Johannesburgo también están implementando proyectos similares. (Lucid Energy, 2017)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la planta de potabilización de agua ubicada en el barrio El Porvenir de la ciudad de Jalapa, puede observarse que la diferencia entre la altura a la que se encuentra la planta (h_p) y la altura a la que se encuentra la ciudad (h_c), denotada por $h_c - h_p = h$, la cual aún no ha sido determinada, puede generar un caudal de agua con potencial para la generación de energía eléctrica y usando la tecnología de microturbinas se podría generar dicha energía eléctrica.

El problema que se busca resolver, dadas las condiciones que se tienen en las instalaciones, es estimar el potencial para ser un generador distribuido renovable (GDR). Pero para poder determinar si el uso de este recurso puede ser aprovechado de esta manera, se debe realizar un estudio que responda las siguientes preguntas de investigación.

Pregunta central:

- ¿Cuál es la capacidad potencial de generación de energía eléctrica de la planta de agua potable de la ciudad de Jalapa?

Preguntas auxiliares:

- ¿Cuánta energía potencial posee el agua en las instalaciones de la planta de agua potable de la ciudad de Jalapa?
- ¿Existe actualmente tecnología que permita aprovechar la instalación para la generación de energía eléctrica?

- ¿Cuál es el potencial de generación de energía eléctrica de la planta de agua potable de la ciudad de Jalapa?

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación a realizar se enmarca en las líneas de investigación de Economía Política y Planificación Energética, apartado de Opciones de aprovechamiento de energías y Diseño de Hidroeléctricas, cuyos resultados serán de beneficio para la población de la ciudad de Jalapa desde el punto de vista social y económico. Si el estudio realizado en este trabajo se aplica en otras plantas de agua potable donde las condiciones sean favorables para la generación de energía eléctrica, podría beneficiar a un mayor número de personas.

El aprovechamiento del caudal de agua producido en la planta de potabilización de agua de la ciudad de Jalapa, para la producción de energía eléctrica, será un aporte que beneficiará a la población de la ciudad, ya que permitirá observar si se tiene el potencial requerido y será una buena opción para generar energía eléctrica mediante un recurso renovable, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Generará también una reducción en los costos de potabilización del agua que se consume en una parte de la ciudad.

Por otra parte, si la producción excede las necesidades de la planta, el exceso podría ser llevado a la red de distribución, lo que haría que el costo de la energía eléctrica pudiera bajar, trayendo con esto un beneficio económico para la población en general. Algo que es muy importante es la colaboración entre instituciones del gobierno municipal para proveer los servicios que la población necesita, y esta generación de energía eléctrica por medio de este recurso podría generar una colaboración mutua entre la Empresa del Agua y la

Empresa Eléctrica Municipal. La generación de energía eléctrica aprovechando este recurso puede incidir en la disminución de los costos del tratamiento del agua para potabilizarla, lo que supondría reducir el costo del canon de agua para el usuario.

5. OBJETIVOS

4.1. General

Determinar el potencial energético como Generador Distribuido Renovable (GDR) de las instalaciones de la planta de agua potable de la ciudad de Jalapa.

4.2. Específicos

1. Cuantificar la energía potencial que posee el agua tratada en la planta potabilizadora de la ciudad de Jalapa por medio de un estudio topográfico para determinar la altura de caída.
2. Investigar sobre la tecnología que permite la generación de energía eléctrica por medio de recursos hídricos y la aplicación de la misma en la instalación a estudiar.
3. Calcular la energía eléctrica que podría generarse en la planta de agua potable de la ciudad de Jalapa, aplicando la tecnología disponible y adecuada para generar energía eléctrica en esta instalación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El siguiente trabajo presentará, desde un punto de vista técnico, el cálculo del potencial energético, con base en el caudal del agua tratada que tiene la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Jalapa. Se hará una medición de los diferentes caudales, ya que estos difieren según la época del año, para esto se utilizarán los datos históricos de la empresa del agua y las mediciones de campo realizadas en el período que abarque este estudio.

También se calculará la energía potencial que las instalaciones poseen con base en base la altura que hay desde las instalaciones de potabilización al punto donde se propondrá la instalación del generador de energía eléctrica. Además se realizará una investigación de estudios relacionados que se han realizado en otras ciudades y universidades, con esta información se podrá medir el potencial del agua y compararlo con las especificaciones de los equipos que actualmente existen en el mercado y que puedan adaptarse a las condiciones de las instalaciones existentes, para obtener el cálculo de la energía eléctrica que pueda generarse.

Esta investigación no abarca el diseño de las instalaciones para generar energía eléctrica, ni los costos que conlleva, sino que determinará si es posible la generación de energía eléctrica dadas las condiciones de la planta, lo cual pueda servir como guía para aplicarse en otras instalaciones similares.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energía

Todos los cuerpos poseen entre sus atributos la energía, la cual les permite cambiar su estado y también actuar sobre otros cuerpos o sistemas, modificándolos. Es posible decir que, sin energía, no sería posible ejecutar ningún proceso sea cual sea su índole. Un principio que rige la energía dice que esta no se crea ni se destruye, solo se transforma, lo que permite clasificar la energía según el efecto que produzca en los cuerpos o sistemas (Resnick, Halliday, & Krane, 1988).

7.1.1. Energía potencial

Desde el punto de vista etimológico el término en estudio está compuesto de dos palabras, la primera de ellas es energía, que a su vez procede de dos componentes del griego que son *en*, que equivale a dentro, y *ergón*, que puede traducirse como trabajo o acción. El segundo término es potencial, que se deriva del latín y está compuesto por tres términos: *posse o potis*, que significa poder, *nt* que es equivalente a agente y, por último, el sufijo *al* que se utiliza para decir que algo es “relativo a”. (Resnick, Halliday, & Krane, 1988).

Existen diferentes clases de energía potencial:

Energía potencial gravitacional, que se determina por la altura a la que se encuentra un objeto con respecto al plano de referencia, definiendo que por el punto de elevación que una masa tiene, afectada por la fuerza de la gravedad,

esta puede efectuar un trabajo determinado solo por el cambio en su altura. Esta puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

E_{pot} = es la energía potencial del cuerpo

m = masa del cuerpo

g = aceleración de la gravedad

h = altura a la que se encuentra el cuerpo

Energía potencial química es el potencial que tiene un cuerpo de transformarse en energía cinética por medio de un procedimiento de combustión interior, por ejemplo: la energía potencial que posee la gasolina que, al quemarse, es capaz de mover un motor de combustión y este a su vez un automóvil.

Y energía potencial elástica es la que posee un cuerpo al ser deformado por el trabajo ejercido sobre el por las fuerzas que lo deforman. (Resnick, Halliday, & Krane, 1988).

7.1.2. Energía cinética

(Resnick, Halliday, & Krane, 1988). Energía cinética: ya quedó definida la energía como la capacidad interna que posee un cuerpo para realizar un trabajo, queda definir cinética, palabra que se deriva del griego *kinesis* que significa movimiento. Entonces se puede decir que energía cinética es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar un trabajo debido a su movimiento,

por tanto, está relacionada con su masa y velocidad y la define la siguiente fórmula:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

E_k = energía cinética

m = masa

v = velocidad

7.1.3. Energía mecánica

Es la que poseen los cuerpos capaces de producir movimiento en otros cuerpos y se asocia a la posición o la velocidad. Ambas magnitudes definen el estado mecánico de un cuerpo, de modo que este puede cambiar porque cambie su posición o porque cambie su velocidad (Resnick, Halliday, & Krane, 1988).

7.2. Cálculo de energía potencial y cinética

La energía potencial puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \text{ (Ec. 3)}$$

Donde

E_{pot} = es la energía potencial del cuerpo

m = masa del cuerpo

g = aceleración de la gravedad

h = altura a la que se encuentra el cuerpo

(Resnick, Halliday, & Krane, 1988). Y la energía cinética que un sistema posee se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \text{ (Ec. 4)}$$

Donde:

E_k = energía cinética

m = masa

v = velocidad

7.3. Caudal

Caudal es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en una unidad de tiempo. Es posible generalizar diciendo que es el volumen de un fluido que pasa por determinada área en una unidad tiempo determinada, por ejemplo: m^3/s (3HC, 2017).

7.3.1. Cálculo de caudal

Si se desea determinar el caudal que posee una corriente de agua es posible utilizar algunos métodos manuales simples y sencillos muy confiables. A continuación, se describen dos de estos.

Para canales, ríos y arroyos se puede utilizar el método del objeto flotante, este consiste en determinar un tramo del afluente que se va a medir que tenga un área uniforme. Luego se mide con un cronómetro el tiempo que a un objeto que flota le lleva recorrer dicha distancia.

Se calcula el área (A) y se determina la velocidad (v) que lleva el objeto, al relacionarlos es posible obtener el caudal (Q) de dicho afluente $Q=v*A$ (3HC, 2017).

Otro método que puede emplearse para calcular el caudal de una corriente de agua es el método del recipiente con volumen conocido. En este método se procede de la siguiente manera: se dirige todo el caudal de agua hacia un recipiente de volumen conocido, midiendo el tiempo que este tarda en llenarse. Se determina el caudal como el cociente entre el volumen del recipiente y el tiempo en llenarse (3HC, 2017).

7.4. Energía eléctrica

La energía eléctrica es la que se origina por el movimiento de electrones a través de un conductor. Esta forma de energía produce fundamentalmente tres efectos: luminoso, térmico y magnético (Wilson, s.f.)

7.4.1. Generación de electricidad

La energía eléctrica se genera por medio de unas máquinas, conocidas como generadores, las cuales realizan la función de transformar la energía mecánica que reciben en energía eléctrica. Esto se logra haciendo girar el eje de una máquina rotativa que transformará la energía mecánica recibida en su eje en energía eléctrica alterna, poniendo en función el principio de inducción electromagnética (Wilson, s.f.)

El principio de inducción electromagnética dice que, si se hace pasar un conductor eléctrico por un campo magnético, una corriente eléctrica fluirá por él. Este principio fue descubierto por el científico Inglés Michael Faraday (Wilson, s.f.)

La energía mecánica que mueve el eje del generador eléctrico se puede obtener por diferentes sistemas. Estos sistemas para su funcionamiento necesitan otras fuentes de energía que se obtienen de diferentes recursos, los cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos: recursos renovables y recursos no renovables (Wilson, s.f.)

7.5. Recursos para generar electricidad

Las dos fuentes principales de energía para el hombre son el sol y el planeta tierra, estos dos astros proporcionan toda la energía. Los recursos que proporcionan se pueden clasificar en dos grandes grupos según su capacidad de regeneración: renovables y no renovables (Beljansky, 2012).

7.5.1. Recursos renovables

Estos recursos son todos aquellos que se pueden utilizar como una fuente de energía y tienen como característica que de forma natural o asistida por el hombre pueden renovarse en el corto plazo. En Guatemala, el Ministerio de Energía y Minas ha identificado las siguientes fuentes de energía renovable:

- Hídrico
- Geotérmico
- Eólico
- Solar
- Biomasa

7.5.2. Recursos no renovables

La naturaleza provee ciertos recursos a partir de los cuales se puede generar energía, pero tienen como característica que su ciclo de regeneración se debe a un proceso muy complicado y de larga duración. Los recursos no renovables se encuentran en yacimientos donde se forman y acumulan. El hombre puede acceder a ellos mediante diferentes métodos, lo cual hace que su extracción tenga un costo que varía dependiendo de las circunstancias en las que se encuentren los yacimientos. Algunos de estos recursos son:

- Petróleo
- Carbón Mineral
- Gas Natural

(Ministerio de Energía y Minas República de Guatemala, 2015)

7.6. Generación de energía hidroeléctrica

Para la generación de energía hidroeléctrica se debe contar con dos aspectos básicos, el generador y el mecanismo que lo hará girar para la generación de electricidad. Los generadores son una gama de equipos que permiten transformar la energía mecánica en electricidad.

En una hidroeléctrica el mecanismo que hace girar a los generadores es una corriente de agua que hace girar unos dispositivos conocidos como turbinas, que son los que proporcionan el movimiento giratorio a los generadores (Carta González, Calero Pérez, 2009).

7.6.1. Generadores

Un generador eléctrico es una máquina de tipo rotativo cuya función principal es transformar la energía mecánica que recibe al girar su eje en energía eléctrica. (Carta González, Calero Pérez, 2009). Estas máquinas realizan su función debido al principio de inducción electromagnética descubierto por Michael Faraday en 1831. Entre los generadores de corriente alterna es posible encontrar dos tipos:

- Generador síncrono
- Generador asíncrono

(Chapman, 2012)

7.6.1.1. Generador síncrono

Estas son máquinas que se utilizan para convertir energía mecánica en energía eléctrica, induciendo un campo magnético en el rotor, el cual al girar induce una corriente eléctrica en los conductores del estator. La corriente que se genera en estas máquinas es de tipo trifásica y alterna. (Chapman, 2012)

7.6.1.2. Generador asíncrono

Este tipo de generador es también conocido como generador de inducción. Para generar el campo magnético estos generadores necesitan estar conectados a una red de alimentación, y tienen como una desventaja que a la salida de la corriente principal tiene que adjuntarse un banco de capacitores para reducir el efecto de las corrientes reactivas que se producen. También se

puede mencionar que las turbinas no necesitan regulador de velocidad, ya que la frecuencia es regulada por la red eléctrica. (Carta González, Calero Pérez, 2009).

7.6.2. Turbinas

Estas son un tipo de maquina hidráulica que tiene como función recibir el flujo de un fluido y transformarlo en energía mecánica con el propósito de hacer funcionar otros dispositivos. Estas tienen que adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento donde las variables principales son el salto de agua y el caudal, lo que ha permitido que, con el fin de lograr la máxima eficiencia, existan diferentes diseños. Entre estos diseños se puede mencionar los siguientes:

- Pelton
- Francis
- Kaplan

(Fajardo Ríos, 2009)

7.6.2.1. Turbinas Pelton

Estas son turbinas de flujo transversal y admisión parcial, y pueden ser de impulso o acción. Están diseñadas para aprovechar los saltos de agua de gran altura, sirviéndose de la energía cinética que se genera por la velocidad que toma el fluido por la diferencia de altura. Para su funcionamiento no es importante el caudal, lo que les permite funcionar aun con pequeños caudales. Su nombre se debe al ingeniero Lester Allen Pelton (1829-1908). (Fajardo Ríos, 2009)

7.6.2.2. Turbinas Francis

Este tipo de turbinas está diseñado para trabajar con saltos de agua intermedios que van desde los 30 mts. a los 550 mts. de altura. Son turbinas de flujo mixto que pueden aprovechar tanto la acción radial como la axial del fluido de forma simultánea. También pueden trabajar eficientemente en un amplio rango de caudal hasta unos 200 m³/s. Su nombre se lo deben al ingeniero James Bichano Francis (1815-1892). (Fajardo Ríos, 2009)

7.6.2.3. Turbinas Kaplan

Estas turbinas tienen la particularidad de que sus alabes no están fijos y se adaptan a las necesidades del caudal del fluido, son de reacción y pueden funcionar eficientemente cuando los saltos de agua son muy pequeños (menos de 10 mts). Son consideradas entre las más eficientes en circunstancias de baja presión y su nombre se lo deben al Doctor Víctor Kaplan (1876-1934). (Fajardo Ríos, 2009)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

TÍTULO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

INDICE DE TABLAS

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Energía

1.1.1. Energía potencial

1.1.2. Energía cinética

1.1.3. Energía mecánica

1.2. Cálculo de energía potencial y cinética

1.2.1. Caudal

1.2.2. Cálculo de caudal

1.3. Energía eléctrica

1.3.1. Generación de electricidad

1.4. Recursos para generar electricidad

1.4.1. Recursos renovables

1.4.2. Recursos no renovables

1.5. Generación de energía hidroeléctrica

- 1.5.1. Generadores
 - 1.5.1.1. Generador síncrono
 - 1.5.1.2. Generador asíncrono
- 1.5.2 Turbinas
 - 1.5.2.1. Turbinas Pelton
 - 1.5.2.2. Turbinas Francis
 - 1.5.2.3. Turbinas Kaplan

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 2.1. Descripción de instalaciones
- 2.2. Medición de energía potencial
- 2.3. Medición de energía cinética
- 2.4. Potencial de generación de las instalaciones

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este es un estudio de alcance descriptivo en el cual se realizará un análisis del potencial energético que tiene la planta de potabilización de agua de la Ciudad de Jalapa. Se utilizará un enfoque cuantitativo para la investigación, analizando datos numéricos históricos y proyectados, y mediciones en el lugar, para el alcance de los objetivos de la investigación, con un diseño de investigación no experimental con el cual se analizarán los datos obtenidos de la observación para obtener las conclusiones sin manipular las variables a investigar. Para el alcance de los objetivos de esta investigación se realizará las siguientes acciones:

Una investigación en la cual se analizarán las ventajas y desventajas de diferentes métodos prácticos para determinar el método más adecuado y de mejor adaptación a las características de las instalaciones, para obtener las mediciones de campo que permitan obtener las lecturas de los caudales de agua vertidos a la ciudad. Se utilizará en la obtención de los cálculos del caudal el método del objeto flotante y el método de un recipiente con volumen conocido, haciendo la comparación de ambos resultados para determinar los más confiables.

Se realizará un estudio topográfico para determinar la altura de la caída de agua. Los resultados que se obtendrán permitirán hacer el cálculo de las diferentes etapas energéticas del agua potable distribuida a la ciudad. Además, se realizará una investigación histórica de los caudales de agua potable surtidos a la ciudad para calcular el promedio de agua que ofrece la planta.

También se realizarán mediciones en diferentes horarios del día, para poder tener información más cercana a la cantidad real del caudal. Con estos datos se calculará la energía potencial del agua tomando en consideración estas mediciones de cantidad de agua y diferencia de altura con respecto al punto de ubicación propuesto para los generadores, aplicando las fórmulas científicas que permitirán obtener un caudal promedio generado.

Se realizará una revisión bibliográfica de proyectos similares que permitirán tomar parámetros para comparar y proyectar el potencial de generación de energía eléctrica que las instalaciones de la planta tienen. También se realizará una búsqueda en mercados virtuales sobre equipos que permitan aprovechar este recurso, revisando si los datos obtenidos son suficientes para hacer producir energía a dichos equipos, tomando en cuenta su capacidad de generación y los estándares bajo los cuales dichos equipos pueden trabajar con eficiencia.

Mediante la agrupación de la información obtenida del estudio en tablas se hará una comparación con las especificaciones de los equipos que se considera pueden utilizarse en este caso, obtenidos de la investigación de los diferentes fabricantes de equipos que se adapten a las condiciones de generación de las instalaciones.

Utilizando los equipos más eficientes según la investigación se determinará el potencial de generación de energía eléctrica. Este estudio pretende calcular el potencial de generación eléctrica en las instalaciones de la planta de potabilización de agua de la Ciudad de Jalapa, utilizando los caudales de agua tratada para dicha generación y los equipos que actualmente se encuentran en el mercado y que pueden adaptarse a este modelo de generación.

Los resultados del estudio podrán ser extrapolados a otras instalaciones que por sus condiciones puedan ser consideradas con un potencial para la generación de energía eléctrica.

Las fases de la investigación son:

- Solicitud de los permisos correspondientes para ingresar a la planta.
- Visita a la planta para realizar la descripción general de la situación de la misma.
- Estudio de los estanques de agua y su flujo para determinar datos de volúmenes y caudales de agua.
- Estudio topográfico para determinar la altura de caída del agua.
- Investigación histórica de los caudales de agua que proporciona la planta.
- Cálculo de las variables que intervienen en el proceso de generación de energía eléctrica por medio de recursos hidráulicos, con los datos estudiados y aplicando los métodos investigados.
- Revisión de información sobre la tecnología que se puede aplicar en la situación de la planta, para determinar cuál se adapta más y puede aprovecharse de manera más eficiente.
- Estimar el potencial energético que posee la planta para la generación de energía eléctrica.
- Realizar el informe con conclusiones y recomendación de la investigación.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

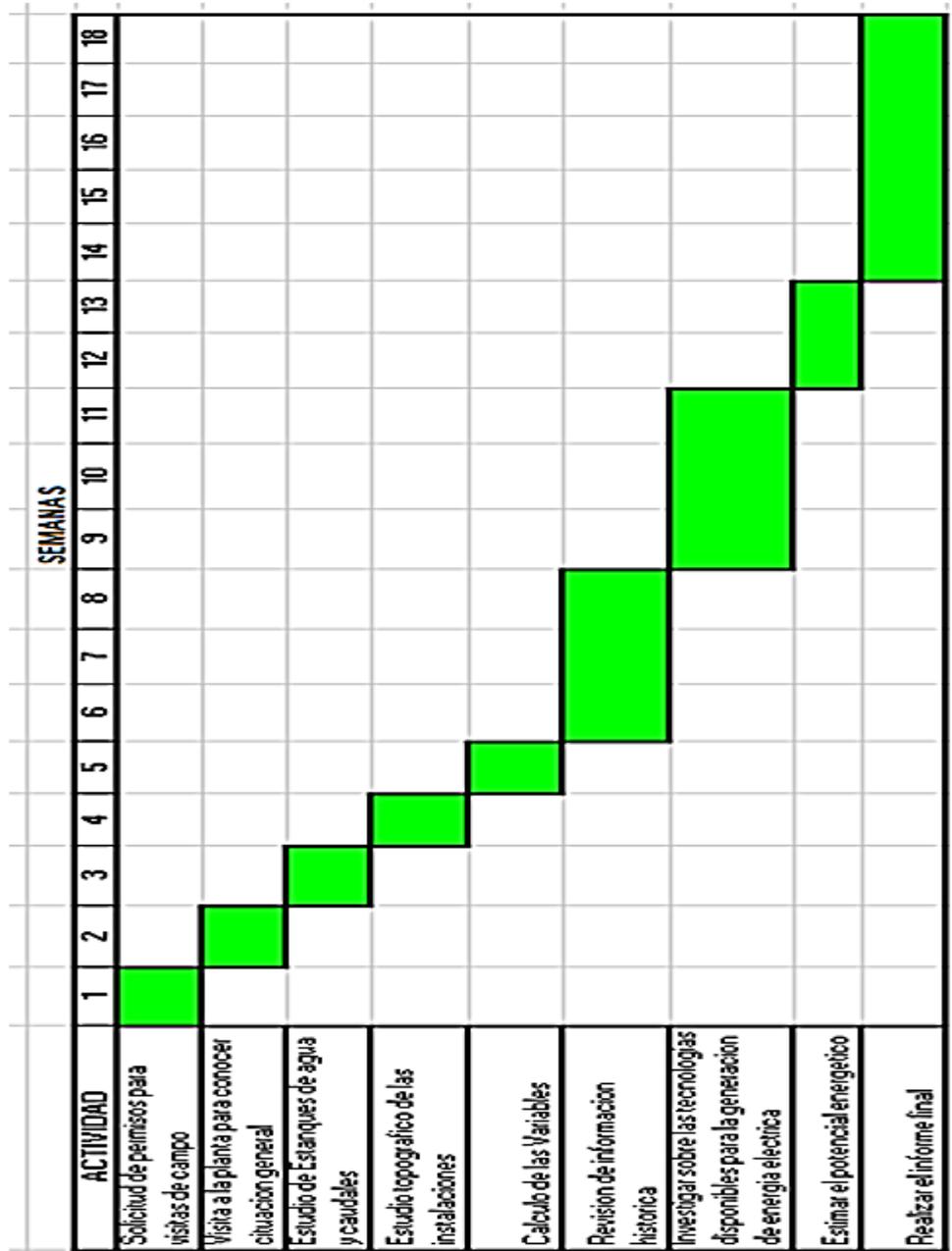
Los datos obtenidos de los estudios y cálculos que se realizarán durante el estudio de investigación serán analizados por medio de métodos estadísticos como promedios y gráficos de tendencias, con el objetivo de poder entender e interpretar los datos obtenidos. Se utilizará en esta parte del estudio el método analítico, mediante el cual se analizarán los datos de diferentes condiciones de funcionamiento de la planta, para luego realizar una síntesis de los mismos.

La información que se obtenga de la investigación de la tecnología disponible para la generación de electricidad será presentada en el informe y los datos técnicos detallados en tablas que permitan su análisis, comprensión e interpretación. Esta información servirá para contrastar con las especificaciones de los equipos que según la investigación cumplan con las condiciones que se presentan en las instalaciones de la planta y permitan determinar, mediante los estándares de funcionamiento de los mismos, el potencial de generación de energía eléctrica que posee la misma. Utilizando el método comparativo se puede llegar a conclusiones que faciliten las recomendaciones necesarias.

Los datos obtenidos podrán ser agrupados en tablas en que se harán comparaciones con los parámetros establecidos en estudios anteriores o especificaciones de funcionamiento de los equipos propuestos, para hacer la función de generadores de energía eléctrica.

11. CRONOGRAMA

Figura 2. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia empleando Microsoft Project Professional 2016.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización de la presente investigación serán necesarios los siguientes recursos humanos: el estudiante investigador y un asesor de la investigación. Serán también necesarias herramientas de medición como cronómetro, metro y computadora para la tabulación, cálculos y preparación de informes, acceso a fuentes de información tanto local como global, en archivos de la empresa y por medio de conexión a Internet, respectivamente. El estudiante ya cuenta con la autorización escrita del gerente general para el acceso a la información que se considere necesaria para el estudio. Los recursos financieros serán proporcionados por el estudiante investigador.

Tabla I. **Lista de costos**

DESCRIPCION	COSTO
Transporte y alimentación	Q. 1 000,00
Reuniones para entrevistas y obtener información	Q. 1 000,00
Ayudante para realizar mediciones	Q. 300,00
Equipo de medición (metro, cronómetro, recipientes, etc.)	Q. 1 000,00
Computadora e impresora	Q. 4 500,00
Servicio de Internet	Q. 600,00
Estudio topográfico	Q. 500,00
TOTAL	Q. 8 900,00

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARENAS SÁNCHEZ, D. A.; ZAPATA CASTAÑO, H. S. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
2. BELJANSKY, M. (2012). *Matriz energética: sus implicancias en la huella de carbono de productos*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
3. CARTA GONZÁLES, J. A.; CALERO PÉREZ, R. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Pearson Educación.
4. CHAPMAN, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas*. Mexico: McGrawHill/Interamericana editores, S.A. de C.V.
5. Constitución Política de la República de Guatemala. (17 de Noviembre de 1993). 76. Guatemala, República de Guatemala.
6. Energy, L. (28 de 8 de 2017). *Lucid energy*. Recuperado de www.lucidenergy.com.
7. EPMAPS. (28 de agosto de 2017). *Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento*. Recuperado de <http://www.aguaquito.gob.ec/hidroelectricidad-1>.

8. FAJARDO, M. M. (2009). *Determinación del potencial hidroeléctrico del sistema de abastecimiento de agua potable de Santa Cruz la Laguna, Sololá, y propuesta de aplicación en instalaciones municipales*. Guatemala: USAC.
9. GALVÁN, L. A. (2010). *Generación de electricidad con aguas residuales del Río Villalobos*. Guatemala.
10. Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Política Energética 2013-2027*. Guatemala.
11. MORALES, C. V. (2015). *Estudio del aprovechamiento*. Cartagena.
12. NIÑO, M. D. (27 de junio de 2017). *Universidad de la Rioja*. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=41596>.
13. ROBERT RESNICK, D. H. (1988). *Física. Vol. 1*. Mexico: Compañía Editorial Continental S. A. de C. V.
14. SANZ NOGUERA, V. (27 de junio de 2017). *Upc*. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/19586>.
15. VELÁSQUEZ, M. S. (25 de abril de 2012). *El contexto de la energía renovable en Guatemala y la matriz energética*. Guatemala.
16. WILSON, J. D. (s.f.). *Física*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Matriz de coherencia**

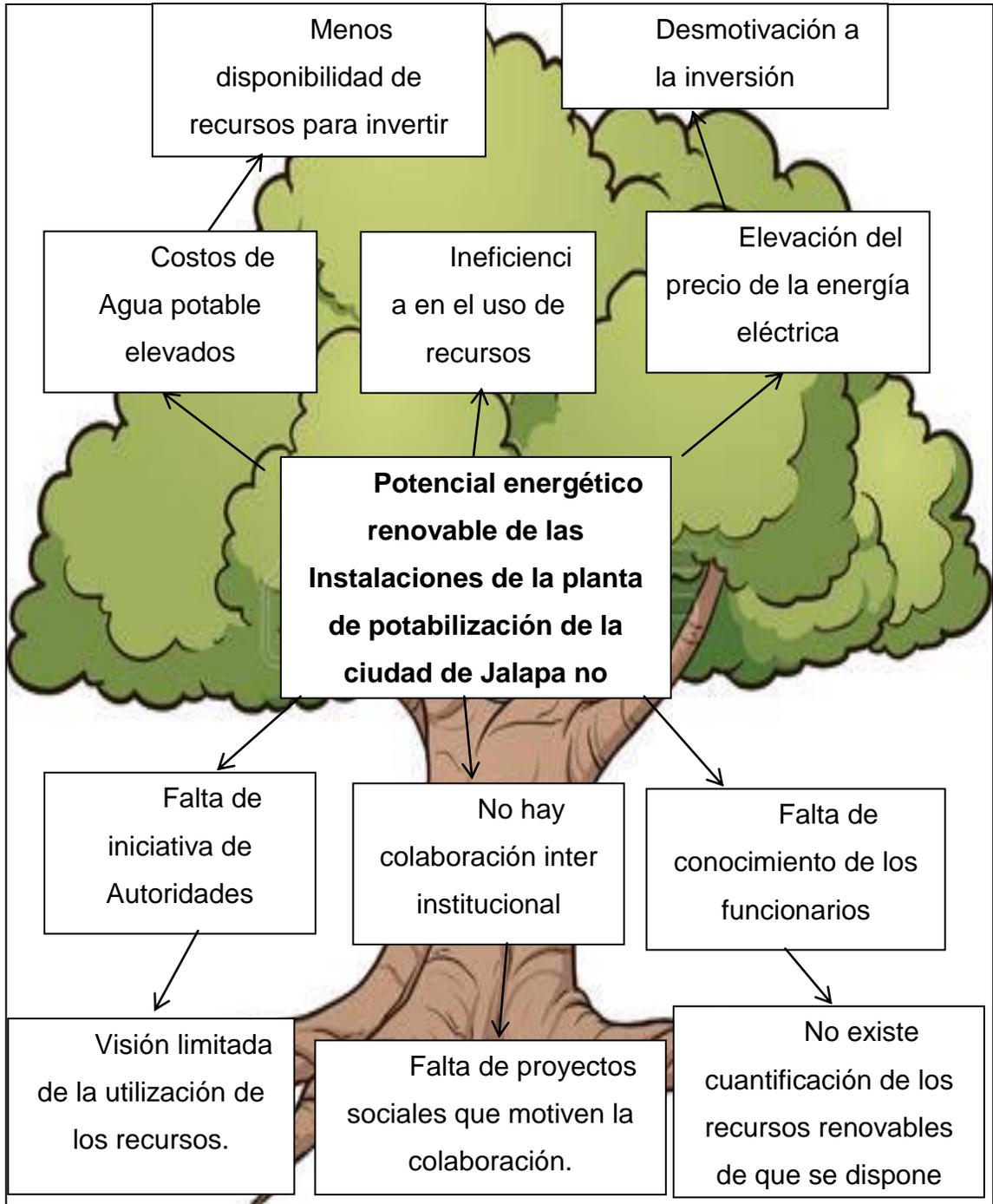
PROBLEMA	PREGUNTAS	OBJETIVOS	MARCO METODOLOGICO
Potencial energético renovable de las instalaciones de la planta de potabilización de la Ciudad de Jalapa no aprovechado.	¿Cuál es la capacidad potencial de generación de energía eléctrica de la planta de agua potable de la Ciudad de Jalapa?	Determinar el potencial energético como Generador Distribuido Renovable (GDR) de las instalaciones de la planta de agua potable de la Ciudad de Jalapa.	
	¿Cuánta energía potencial poseen las instalaciones de la planta de agua potable de la Ciudad de Jalapa?	Cuantificar la energía potencial que posee el agua tratada en la planta potabilizadora de la Ciudad de Jalapa	Calcular la energía potencial del agua tomando mediciones de cantidad de agua y diferencia de altura con respecto al punto de ubicación de los generadores y el caudal generado.
	¿Qué tecnología existe actualmente que permita aprovechar la instalación para la generación de energía eléctrica?	Comparar las diferentes tecnologías que permiten la generación de energía eléctrica por medio de recursos hídricos.	Hacer una revisión bibliográfica de proyectos similares y búsqueda en mercados virtuales sobre equipos que permitan aprovechar este recurso.

Continuación apéndice 1.

	¿Cuál es el potencial de generación de energía eléctrica de la planta de agua potable de la Ciudad de Jalapa?	Determinar el potencial de generación de energía eléctrica de la planta de agua potable de la Ciudad de Jalapa.	Utilizar tablas y especificaciones de los equipos que se considera pueden utilizarse en este caso para el cálculo del potencial de generación de energía eléctrica.
--	---	---	---

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problema.**



Fuente: elaboración propia

