



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO EN  
CENTRO EDUCATIVO DE ESCUINTLA Y APLICACIÓN COMO USUARIO  
AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA**

**Luis Adolfo Chinchilla Juárez**

Asesorado por el Msc. Ing. Luis Arturo Cerna Rich

Guatemala, marzo de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO EN  
CENTRO EDUCATIVO DE ESCUINTLA Y APLICACIÓN COMO USUARIO  
AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS ADELSON CHINCHILLA JUÁREZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS ARTURO CERNA RICH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera 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 DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO EN CENTRO EDUCATIVO DE ESCUINTLA Y APLICACIÓN COMO USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 30 de noviembre de 2021.

**Luis Adolfo Chinchilla Juárez**







**EEPFI-PP-0072-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

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

**Estimado Ing. Rivera**

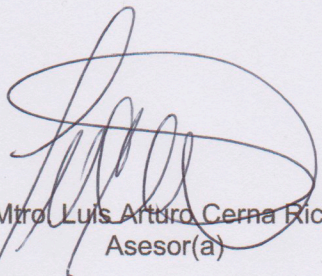
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO EN CENTRO EDUCATIVO DE ESCUINTLA Y APLICACIÓN COMO USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica. - Diseño, operación y regulación de proyectos energéticos con recursos renovables**, presentado por el estudiante **Luis Adolfo Chinchilla Juárez** carné número **201313775**, 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 Gestion De Mercados Electricos Regulados.

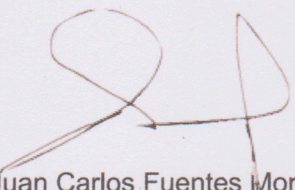
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para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

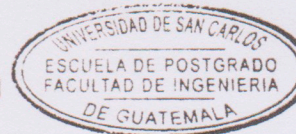
Atentamente,

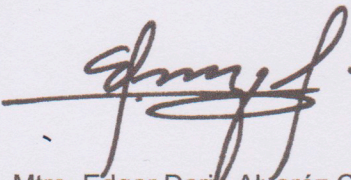
*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. Luis Arturo Cerna Rich  
Asesor(a)

**Luis Arturo Cerna Rich**  
**Ing. Mecánico Electricista**  
**Colegiado 6247**

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



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









EEP-EIME-0072-2022

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 UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO EN CENTRO EDUCATIVO DE ESCUINTLA Y APLICACIÓN COMO USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA.**, presentado por el estudiante universitario **Luis Adolfo Chinchilla Juárez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

Guatemala, enero de 2022



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

LNG.DECANATO.OI.212.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO EN CENTRO EDUCATIVO DE ESCUINTLA Y APLICACIÓN COMO USUARIO AUTOPRODUCTOR CON EXCEDENTES DE ENERGÍA**, presentado por: **Luis Adolfo Chinchilla Juárez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por su permanente guía.

### **Mis padres**

Boanerges Chinchilla y Gloria Juárez, mi eterno agradecimiento por su amor y constante apoyo para hacer realidad este sueño.

### **Mis hermanos**

Marina, Boanerges, Amalia y Gabriela Chinchilla, por su apoyo incondicional y confianza que siempre me han tenido.

### **Amigos**

Por la motivación, buenos momentos y consejos que me brindaron durante la carrera.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitirme formarme y desarrollar mi carrera.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por todas sus enseñanzas, dedicación y motivación, así mismo por las innovaciones que permiten conocer los diferentes campos de aplicación.
<b>Mi familia</b>	Por su amor, esfuerzo y apoyo.
<b>Mi asesor</b>	Msc. Ing. Luis Cerna, por su permanente colaboración y guía en la realización del trabajo de graduación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1 Contexto general .....	7
3.2 Descripción del problema .....	7
3.3 Formulación del problema .....	8
3.4 Delimitación del problema .....	8
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1 General.....	13
5.2 Específicos .....	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Energía solar fotovoltaica .....	17

7.1.1.	Concepto de energía solar .....	17
7.1.2.	Radiación solar.....	18
7.1.3.	Generación eléctrica con energía renovable .....	18
7.1.3.1.	Generación hidráulica.....	18
7.1.3.2.	Generación geotérmica .....	20
7.1.3.3.	Generación eólica.....	21
7.1.3.4.	Generación con biomasa.....	22
7.1.3.5.	Generación solar fotovoltaica .....	22
7.1.4.	Matriz energética de Guatemala .....	24
7.1.5.	Sistema de generación solar fotovoltaica .....	26
7.1.6.	Componentes de un sistema de generación solar fotovoltaico .....	26
7.1.6.1.	Celda fotovoltaica .....	27
7.1.6.2.	Paneles fotovoltaicos.....	28
7.1.6.3.	Regulador de carga .....	29
7.1.6.4.	Inversor .....	30
7.1.7.	Protecciones eléctricas de un sistema de generación fotovoltaico .....	30
7.2.	Mercado eléctrico guatemalteco y normas aplicables para fuentes de generación renovable .....	31
7.2.1.	Instituciones del mercado eléctrico guatemalteco ...	31
7.2.2.	Marco legal.....	32
7.2.3.	Ley General de Electricidad .....	33
7.2.4.	Ley de Incentivos para el Desarrollo de Energía Renovable .....	34
7.2.5.	Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR – y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía.....	34

7.2.6.	Política Energética 2019-2050.....	35
7.3.	Fundamentos metodológicos del diseño de sistemas fotovoltaicos de pequeña escala .....	36
7.3.1.	Determinación de la demanda.....	36
7.3.2.	Cálculo del número de paneles .....	36
7.3.3.	Dimensionamiento del inversor.....	37
7.3.4.	Dimensionamiento del cableado.....	38
7.4.	Análisis económico.....	38
7.4.1.	Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN).....	39
7.4.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	43
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Características del estudio .....	47
9.2.	Unidades de análisis .....	47
9.3.	Variables.....	47
9.4.	Fases del estudio .....	49
9.4.1.	Fase 1: Revisión documental.....	49
9.4.2.	Fase 2: Dimensionamiento y diseño de un sistema de generación fotovoltaico.....	50
9.4.3.	Fase 3: Requisitos y procedimiento para conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía .....	52
9.4.4.	Fase 4: Análisis económico .....	53
9.5.	Resultados esperados .....	53
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	55

11.	CRONOGRAMA .....	57
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	59
13.	REFERENCIAS .....	61
14.	APÉNDICES .....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	16
2.	Generación hidráulica .....	19
3.	Generación geotérmica .....	20
4.	Generación eólica .....	21
5.	Generación solar fotovoltaica .....	24
6.	Composición de la generación acumulada año 2020 .....	25
7.	Participación de las energías renovables en la generación de energía eléctrica (2020) .....	25
8.	Paneles fotovoltaicos .....	29
9.	Inversor.....	30
10.	Cronograma de Gantt.....	57

### TABLAS

I.	Dimensionamiento del inversor .....	38
II.	Fórmulas VPN.....	39
III.	Criterios de decisión VPN .....	40
IV.	Criterios de decisión TIR .....	42
V.	Variables y su clasificación .....	48
VI.	Variables en estudio.....	48
VII.	Recursos a utilizar en la investigación .....	60





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>GWh</b>	Giga vatio hora
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>=</b>	Igual que
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kWh</b>	Kilovatio hora
<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	Kilovatio hora por metro cuadrado
<b>lb</b>	Libra
<b>MW</b>	Mega Vatio
<b>MWh</b>	Mega vatio hora
<b>m</b>	Metro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Potencia
<b>Q</b>	Quetzales
<b>i</b>	Tasa de interés
<b>W</b>	Vatio
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Vatios por metro cuadrado
<b>V</b>	Voltios



## GLOSARIO

<b>AMM</b>	Administrador del mercado mayorista.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>GDR</b>	Generador distribuido renovable.
<b>IEMA</b>	Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias.
<b>ISR</b>	Impuesto Sobre la Renta.
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>NTGDR</b>	Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable.
<b>SEN</b>	Sistema eléctrico nacional.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno.
<b>UAEE</b>	Usuario autoprodutor con excedentes de energía.

**VAN**

Valor actual neto.

**VPN**

Valor presente neto.

## RESUMEN

El presente estudio trata sobre el diseño de un sistema de generación fotovoltaico en un centro educativo del departamento de Escuintla, se pretende funcionar como usuario autoprodutor con excedentes de energía.

Se busca determinar cuál es la factibilidad técnica y económica de la implementación del sistema de generación en la institución educativa.

En la actualidad la utilización de fuentes renovables de generación ha tomado un gran interés en la sociedad para reducir los costos de la energía eléctrica por lo que a través del presente trabajo de investigación se establecerá un modelo de sistema de generación fotovoltaico que reduzca los altos costos de energía mensual de un centro educativo de la región sur de Guatemala.

El presente diseño de investigación busca establecer los pasos para calcular los componentes de un sistema de generación fotovoltaico para su posterior diseño a través de un diagrama unifilar, definir si se cumple con los requisitos para registrarse como usuario autoprodutor con excedentes de energía y por último se llevará a cabo una evaluación económica por el método del VPN y TIR que permitirán definir si el proyecto es viable.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio muestra una perspectiva general sobre la generación de energía eléctrica con uno de los recursos renovables que ha tomado un gran auge durante los últimos años. De acuerdo con el MEM (2018), “La energía solar es un recurso renovable que llega todos los días a la superficie de la tierra, y se mide en cada lugar como la cantidad diaria de energía que llega a cada metro cuadrado de superficie horizontal” (p. 1). Establece que Guatemala cuenta con un alto potencial solar en varias regiones del país, la radiación solar en Guatemala tiene un valor promedio de 5.3 kWh/m<sup>2</sup> siendo un excelente valor de acuerdo debido a su ubicación geográfica, para tener disponibilidad de radiación solar en un lugar se deben considerar factores como: altura del sitio, temporada del año, latitud del sitio y condiciones meteorológicas.

El objetivo del presente trabajo de investigación es el diseño de un sistema de generación de energía con paneles fotovoltaicos, definir si se cumple con los requisitos para funcionar como usuario autoprodutor con excedentes de energía, así mismo se analizará la factibilidad del proyecto a través de una evaluación económica por el método del VPN y TIR. Es importante resaltar que la instalación de sistemas de generación eléctrica con paneles fotovoltaicos para autoconsumo ha tenido un incremento considerado en Guatemala, tanto a nivel comercial como a nivel residencial.

El estudio se llevará a cabo en una institución educativa del departamento de Escuintla, siendo este departamento un área con gran potencial solar en Guatemala. El problema principal del centro educativo es el alto costo de energía

eléctrica mensual que afecta negativamente el presupuesto de la institución educativa.

La importancia del presente estudio es realizar un diseño de un sistema de generación fotovoltaico que sirva de modelo para la implementación de proyectos de generación a pequeña y mediana escala, funcionando bajo el régimen de usuario autoprodutor con excedentes de energía. Se busca reducir los costos mensuales de energía de la institución educativa y que el proyecto genere beneficios durante su vida útil.

Como esquema de solución la investigación se divide en 5 capítulos, en el primer capítulo se analizarán estudios previos en relación al tema de sistemas de generación eléctrica con recursos renovables, siendo de gran importancia para tomarlos como referencia para la presente investigación.

En el segundo capítulo se realizará una recopilación de conceptos relacionados a energía eléctrica, tipos de generación con recursos renovables, el mercado eléctrico guatemalteco, leyes y normativos del sector eléctrico de Guatemala, la metodología para el diseño de un sistema de generación fotovoltaico y finalmente dos métodos para realizar un análisis financiero de un proyecto. El desarrollo del estudio se realizará en el tercer capítulo donde se mostrará la información recolectada y los diferentes cálculos estadísticos y técnicos para el diseño del sistema de generación fotovoltaico, también definiremos si se cumple con los requisitos para funcionar como usuario autoprodutor con excedentes de energía. En el cuarto capítulo abordaremos el análisis económico del proyecto de generación para determinar si es factible y rentable durante su vida útil. Finalmente, en el quinto capítulo se presentarán y analizarán los resultados obtenidos en la investigación.



## 2. ANTECEDENTES

En la actualidad existen diversos trabajos de investigación sobre el diseño de proyectos de generación con paneles fotovoltaicos, siendo un tema que ha tenido un aumento en el interés de la sociedad, los siguientes trabajos de investigación servirán de soporte para el desarrollo del presente estudio:

Martínez (2016) presenta el caso de electrificar la aldea Searranx, perteneciente al departamento de Izabal. En dicho sitio no se cuenta con suministro de energía eléctrica debido a que se encuentra lejana de un sitio de distribución de energía eléctrica, la instalación de líneas de transmisión o distribución requieren de una alta inversión y se busca la utilización de paneles fotovoltaicos para abastecer de energía a la aldea a través de una inversión de menor costo.

Según Martínez (2016), “El planteamiento de este trabajo consiste en evaluar si la región en estudio tiene las condiciones meteorológicas para generar electricidad, por medio de paneles solares y su capacidad de suplir en forma individual los requerimientos de cada vivienda” (p.8).

Pérez (2014) hace mención al uso de fuentes de energía renovable para sustituir a las fuentes de generación con recursos fósiles siendo estos carbón, petróleo y gas, que tienen un gran impacto con la generación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y contribuyen a la contaminación ambiental.

Pérez (2014) también hace mención al gran potencial solar con el que cuenta Guatemala, por su posición geográfica, cuenta con un potencial solar de los más altos en el mundo (promedio de 5.3 kilovatios/hora)

En vista de lo anterior se plantea el problema de evaluar la viabilidad financiera y ambiental de la inversión para la generación de energía renovable de fuente solar fotovoltaica en el departamento de Jutiapa. La metodología utilizada en el desarrollo de la presente investigación se basa en la utilización del método científico a través de sus distintas etapas: Definición del problema, formulación de objetivo general y objetivos específicos, planteamiento de hipótesis de investigación, instrumentos de medición aplicados; así como la definición de técnicas de investigación documental y de campo, para recopilar, procesar y analizar la información para la comprobación de la hipótesis. (p.1)

De León (2008) muestra el diseño de un sistema de generación eléctrica con paneles solares y un estudio de aprovechamiento en las instalaciones de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos. En la primera etapa se detallan conceptos importantes relaciones a la energía solar, generación fotovoltaica, equipo técnico para la instalar un sistema de generación fotovoltaico.

Un estudio sobre la oferta de energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos, seguido de una cuantificación de demanda de energía en el Edificio T – 6 de la Facultad de Ingeniería, y un balance energético. Dando lugar a argumentos concluyentes con la oportuna y factible consideración de desarrollar proyectos de instalaciones de sistemas de generadores de energía alternativa, con paneles fotovoltaicos y recomendaciones alusivas al tema. (p. XIII)

Frías (2012) desarrolló un colector híbrido solar térmico fotovoltaico que puede generar energía eléctrica utilizando paneles fotovoltaicos y colectores térmicos. Este trabajo planteó un nuevo diseño de paneles fotovoltaicos con un sistema de enfriamiento que utiliza un sistema de circulación de un fluido térmico que mejora la eficiencia de las células extrayendo un porcentaje de calor. El colector híbrido solar térmico fotovoltaico tiene un sistema que permite la interconexión a la red eléctrica de distribución, permitiendo el flujo de energía a la red eléctrica nacional y un ahorro significativo de energía y recursos económicos para la población.

Frías (2012) establece en su tesis, “la construcción y diseño de un sistema solar térmico fotovoltaico en un solo panel es una solución viable que permitirá resolver problemas de eficiencia eléctrica del panel fotovoltaico y poder aprovechar la energía térmica” (p.6).

Ramos y Luna (2014) describen una propuesta de diseño de un sistema de generación eléctrica con paneles solares en una Universidad de México, este proyecto surge debido a dos problemas que fue enfrentarse a la falta de corriente eléctrica y la gran cantidad de usuarios conectados ilegalmente que presenta la red eléctrica de distribución. Se realizaron estudios de factibilidad, de radiación solar, análisis de consumo energético, estudio socioeconómico y un plan de acción para poder desarrollar el proyecto. El resultado fue que el sitio más conveniente para la instalación de los paneles fotovoltaicos es el estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 Contexto general**

Actualmente los costos mensuales del uso del servicio de energía eléctrica en varias instituciones del sector público y privado, son altos y perjudica de gran manera el presupuesto mensual y anual.

El uso de energías renovables ha tenido un aumento considerable en los últimos años debido a su bajo costo de funcionamiento y su baja contaminación ambiental por lo que la implementación de paneles solares es una buena opción para reducir costos mensuales de energía eléctrica.

#### **3.2 Descripción del problema**

Desde el inicio de funcionamiento de la institución educativa se han tenido grandes gastos en el pago del servicio de energía eléctrica y la administración busca una alternativa para poder disminuir los costos mensuales a través de una opción legal en el mercado eléctrico y de beneficio para el medio ambiente. Adicionalmente se requiere que el proyecto sea eficiente, confiable y cuente con las protecciones eléctricas adecuadas. La administración del centro educativo tiene incertidumbre sobre qué tipo de proyecto es el adecuado, tiempo de recuperación de la inversión y el marco legal para la implementación del mismo, por lo que requieren de un profesional que pueda brindarles asesoramiento para llevar a cabo el diseño del proyecto y analizar la implementación para disminuir los costos mensuales del servicio de energía eléctrica.

### **3.3 Formulación del problema**

A continuación, se detallan las preguntas de tipo central y auxiliar para el presente proyecto de investigación:

- **Pregunta central**

¿Cuál es la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de generación fotovoltaico en institución educativa de Escuintla y conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía para reducir el costo mensual de la factura de energía eléctrica?

- **Preguntas auxiliares**

- ¿Qué dimensionamiento y diseño debe tener un sistema de generación fotovoltaico?
- ¿Cuáles son los requisitos y el procedimiento para conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía?
- ¿Cuál es el tiempo de recuperación de la inversión y el beneficio-costado del proyecto?

### **3.4 Delimitación del problema**

El presente trabajo de investigación se desarrollará en un centro educativo ubicado en el kilómetro 38.5 carretera al pacifico, correspondiente al departamento de Escuintla, siendo uno de los departamentos del área de la costa

sur de Guatemala en donde se tiene un buen índice de radiación solar. La recolección, análisis e interpretación de la información se realizará en un plazo de 6 meses, iniciando en el mes de octubre 2021 y finalizando en el mes de abril 2022.





## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se inserta en las líneas de investigación de Ingeniería de Proyectos de Generación Eléctrica y Diseño, Operación y Regulación de Proyectos Energéticos con Recursos Renovables de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados.

La importancia de realizar el presente estudio es establecer una metodología para la implementación de proyectos de generación solar fotovoltaica con aplicación como usuario autoprodutor con excedentes de energía.

La energía solar es una fuente de energía renovable de bajo costo de funcionamiento, pero de alto costo de inversión por lo que en la presente investigación se analizará el tiempo de recuperación de la inversión y así poder determinar la rentabilidad del proyecto.

Las fuentes de generación con energía renovable forman gran parte de la matriz energética actual de Guatemala y el Plan Nacional de energía 2018-2032 dentro de sus fines establece tres ejes elementales: “1) Aprovechamiento de los Recursos Renovables, 2) Eficiencia y Ahorro Energético y 3) Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, cada uno de estos ejes indican acciones para todos los subsectores y actores que componen el sector energético” (Plan nacional de energía 2018-2032, 2017, p.17).

La implementación de sistemas de generación con paneles fotovoltaicos es una fuente energética renovable ilimitada y limpia, ya que no produce gases de

efecto invernadero y contribuye a reducir el uso de combustible fósiles. Económicamente nos ofrece un bajo costo de aprovechamiento o de uso, esto permite la reducción del costo mensual de energía eléctrica durante un largo periodo de tiempo. En el aspecto social un proyecto de generación de energía con paneles solares genera empleo en el área geográfica donde se instalará y se pondrá en funcionamiento durante su vida útil, tiempo en el cual se debe realizar el mantenimiento respectivo para su correcto funcionamiento.

A través de este estudio se analizarán aspectos técnicos, legales y económicos de un sistema solar fotovoltaico para poder sacar provecho a la fuente de energía solar con la que cuenta Guatemala.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Establecer la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de generación fotovoltaico en institución educativa de Escuintla y conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía para reducir el costo mensual de la factura de energía eléctrica.

### **5.2 Específicos**

- Establecer el dimensionamiento de los componentes y el diseño de un sistema de generación fotovoltaico para un centro educativo.
- Evaluar si el proyecto de generación fotovoltaico del centro educativo cumple con los requisitos para conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía.
- Determinar el tiempo de recuperación de la inversión y el beneficio-costo del proyecto de generación fotovoltaico para la institución educativa.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

A través del presente estudio se diseñará un sistema de generación de energía eléctrica utilizando paneles fotovoltaicos que cumplan con la demanda requerida para las instalaciones del centro educativo, adicionalmente se busca registrarse y funcionar como usuario autoprodutor con excedentes de energía.

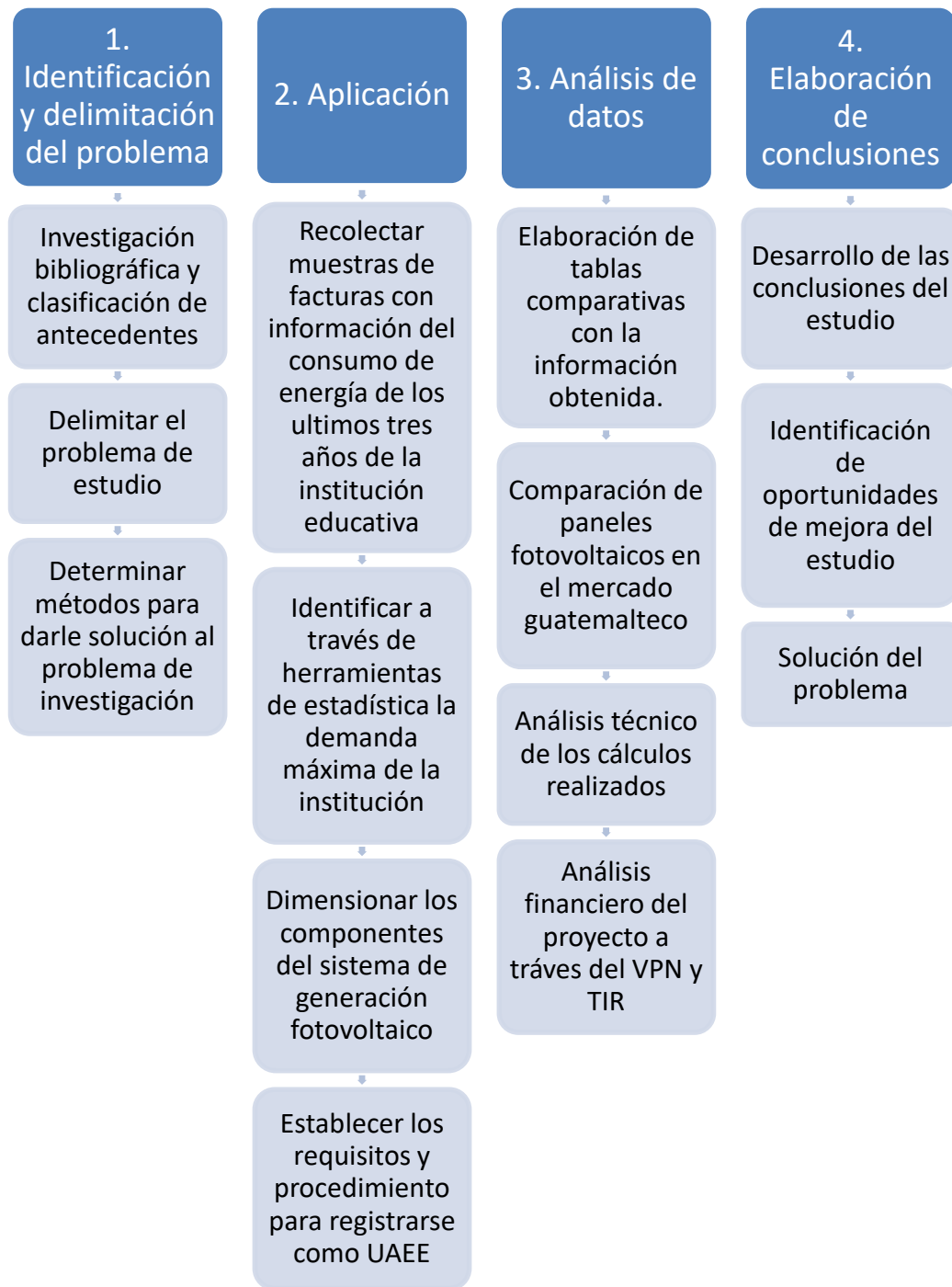
La necesidad de la implementación del sistema de generación con fuente renovable surge de los altos costos mensuales de energía eléctrica que afecta en gran medida el presupuesto de la institución educativa, por lo que se requiere de una fuente de generación que reduzca los costos anteriores, que son causados debido a la gran cantidad de luminarias, equipos eléctricos y electrónicos con que cuenta la institución.

La presente investigación servirá de modelo para la implementación en pequeña escala de un proyecto de generación eléctrica con paneles fotovoltaicos, detallando los aspectos técnicos y financieros para lograr un sistema confiable, eficiente y rentable.

Finalmente se llevará a cabo un análisis económico de la propuesta de diseño del sistema de generación fotovoltaico para determinar si el proyecto es viable, esto dependerá de los resultados obtenidos por el método del VPN y TIR.

Para la realización del estudio se llevarán a cabo las siguientes etapas:

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Energía solar fotovoltaica**

A continuación, se detallan algunos conceptos relacionados a la energía solar fotovoltaica.

#### **7.1.1. Concepto de energía solar**

La energía solar de acuerdo a Espitia (2017) es un tipo de energía renovable obtenida del sol que se puede utilizar para generar calor y electricidad. Hay varias formas de captar la radiación y utilizarla para generar energía a partir de la cual se crean los distintos tipos de energía entre las cuales podemos mencionar: fototérmica, termosolar y fotovoltaica.

Según De León (2008), “energía solar es la energía procedente del sol. En el contexto de las energías renovables, entendemos por energía solar la luz solar que incide en la tierra en sus componentes visibles e invisibles, infrarrojo y ultravioleta” (p. 31).

Adicionalmente Pérez (2014) señala:

Gran parte de la energía necesaria en el mundo puede ser suministrada directamente por la energía solar. Por lo que la práctica del aprovechamiento de ésta es estudiada cada día más, así como sus ventajas e inconvenientes. Además, los usos de la energía solar son actualmente aplicados de manera frecuente. (p. 8)

### **7.1.2. Radiación solar**

Es la energía solar que viaja por el espacio en forma de ondas electromagnéticas. Según Gastélum (2015) la luz que genera el sol posee un grupo de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia que poseen un rango y se le denomina espectro luminoso.

Gastélum (2015) indica:

Las ondas de frecuencias bajas del espectro solar llamadas ondas infrarrojas son las que proporcionan el calor y las de altas frecuencias son las ultravioletas que nos proporcionan la fotosíntesis y el bronceado de la piel. Esos 2 extremos forman parte del espectro solar. La variación de la longitud de onda nos indica la variación de la intensidad luminosa. (p. 5)

### **7.1.3. Generación eléctrica con energía renovable**

La generación eléctrica con energía renovable es toda aquella que utiliza como materia prima un recurso natural, como ejemplos consideramos la radiación solar, el viento, agua, biomasa, gas natural. La generación eléctrica con recursos renovables ha tomado mucho interés durante los últimos años siendo parte importante de la matriz energética de Guatemala, a continuación, se detallan los tipos de generación con recursos renovables que se utilizan en Guatemala.

#### **7.1.3.1. Generación hidráulica**

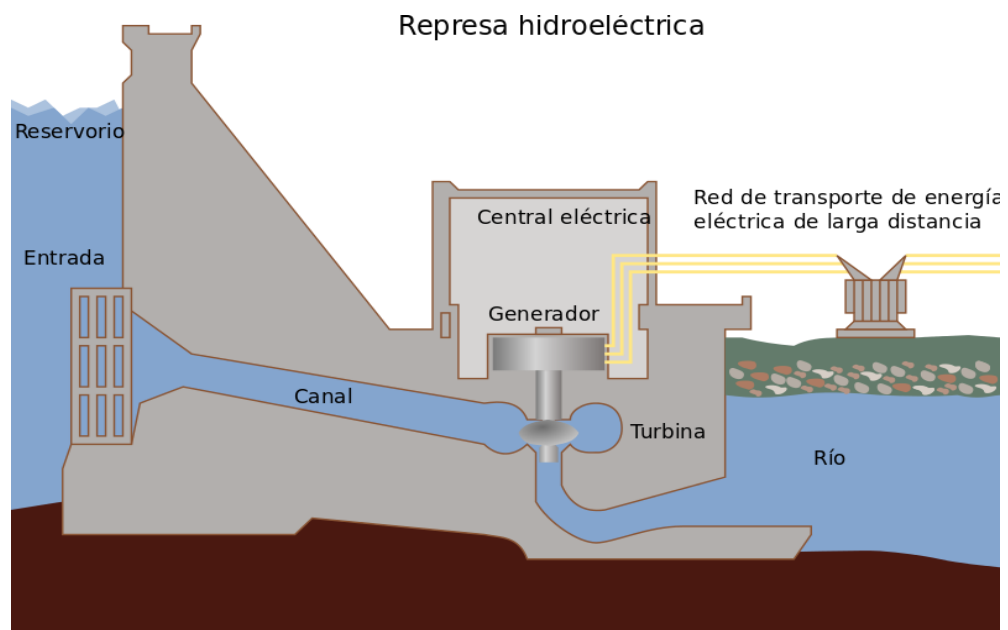
Este tipo de generación forma parte importante de la matriz energética de Guatemala, de acuerdo a Martínez (2016):



Consiste en generar energía eléctrica al aprovechar el agua en movimiento de los ríos o para formar embalses que permitan descargar el agua de acuerdo a programas específicos. El principio es aprovechar la diferencia de altura en los causes o del embalse con la casa de máquinas, de tal manera que el movimiento del agua permita hacer girar las turbinas que a su vez hacen girar los generadores de electricidad. (p. 19)

De acuerdo al informe general del Ministerio de Energía y Minas (2020), “La generación hidroeléctrica presenta la mayor participación con 5,816.54 GWh” (p. 10). Por lo que la generación hidroeléctrica equivale al 52.30 % del total de generación de energía de Guatemala para el año 2020.

Figura 2. **Generación hidráulica**



Fuente: Tomia (2018). *Hydroelectric dam-es.svg*. Consultado el 16 de septiembre de 2021. Recuperado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydroelectric\\_dam-es.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydroelectric_dam-es.svg)

### 7.1.3.2. Generación geotérmica

Conceptualmente hablando Martínez (2016) establece:

Consiste en aprovechar el calor proveniente del interior de la tierra para generar electricidad. Generalmente se explota en zonas volcánicas, pero no se restringe solamente a ellas; a medida que se profundiza en el interior del globo terráqueo la temperatura aumenta, por lo tanto, para que un pozo de extracción de vapor pueda ser aprovechado para generar energía eléctrica sus costos de explotación deberán ser relativamente bajos. (p. 20)

Para Guatemala la generación geotérmica tuvo una inyección a la red eléctrica durante el año 2020 de 273.86 GWh que corresponde al 2.46 % del total de generación de energía de Guatemala. (Ministerio de Energía y Minas, 2021)

Figura 3. Generación geotérmica



Fuente: Piqsels (2021). *Energía geotérmica*. Consultado el 16 de septiembre de 2021.

Recuperado de <https://www.piqsels.com/es/public-domain-photo-zhrnx>

### 7.1.3.3. Generación eólica

En Guatemala este tipo de generación ha tenido un incremento en su participación en la matriz energética durante los últimos años y es posible definirla de la siguiente manera de acuerdo a Martínez (2016):

Es la energía producida por el viento que permite mover el rotor de un generador, que a su vez producirá energía eléctrica. La generación de energía eléctrica eólica contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero al reemplazar métodos de generación a través de residuos fósiles. Es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas e inclusive estacionales de los vientos para seleccionar las zonas de instalación de plantas de generación eólica. La velocidad del viento, su comportamiento con respecto a la altura del suelo, entre otras, son variables que deberán de considerarse. (p. 21)

Figura 4. Generación eólica



Fuente: Pigsels (2021). *Parque eólico*. Consultado el 16 de septiembre de 2021.

Recuperado de <https://www.pxfuel.com/es/free-photo-xdufu>

#### **7.1.3.4. Generación con biomasa**

La generación con biomasa en Guatemala es producida en gran medida por ingenios azucareros pero es posible generarla con diversos residuos naturales, Martínez (2016) menciona que “consiste en generar energía eléctrica a través de la incineración de recursos animales y vegetales, son recursos renovables el bagazo de caña de azúcar, la cascara de trigo, arroz y leña” (p. 21).

Para Guatemala la generación con biomasa tuvo una inyección a la red eléctrica durante el año 2020 de 1,717.96 GWh que corresponde al 15.45 % del total de generación de energía de Guatemala (MEM, 2021).

#### **7.1.3.5. Generación solar fotovoltaica**

Este tipo de generación de energía eléctrica ha tenido un crecimiento en el interés de la población a nivel mundial siendo utilizada en proyectos de pequeña, mediana y gran escala. Zeceña (2018) hace mención en su trabajo de investigación que la energía solar se puede convertir en energía térmica utilizando colectores solares y con los paneles solares la energía luminosa puede convertirse en energía eléctrica.

La generación solar fotovoltaica para Martínez (2016):

Consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad. La electricidad se produce a través de un dispositivo semiconductor denominado panel o célula fotovoltaica, donde la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor y se genera una diferencia de potencial y según su conexión, se pueden obtener diferencias de potencial

mayores. Existen innumerables aplicaciones de utilizar esta energía, aparatos o equipos autónomos, viviendas y refugios aislados de la red eléctrica y en aplicaciones en serie de varios paneles para generar energía suficiente, para conectarla a la red de distribución eléctrica. (p. 24)

Para Guatemala la generación solar tuvo una inyección a la red eléctrica durante el año 2020 de 221.51 GWh que corresponde al 1.99 % del total de generación de energía de Guatemala (MEM, 2021, p. 10).

Entre las ventajas de la generación solar, Frías (2012) menciona:

No precisan suministro de combustible alguno para su operación, son absolutamente no contaminantes, son muy fiables, su operación y mantenimiento son muy sencillos y al alcance de personal escasamente especializado, sus costos actualmente se han ido reduciendo considerablemente, su vida útil es muy larga, probablemente superior a los 30 años, sin que muestren apenas degradación. (p. 17)

Entre las desventajas de este tipo de generación eléctrica, Ramírez (2018) establece: “inversión inicial elevada, difícil almacenamiento, fabricación de tecnología compleja, gran extensión territorial para la instalación de los paneles, variabilidad” (p. 25).

Figura 5. **Generación solar fotovoltaica**



Fuente: Piquesels (2021). *Energía solar*. Consultado el 16 de septiembre de 2021.

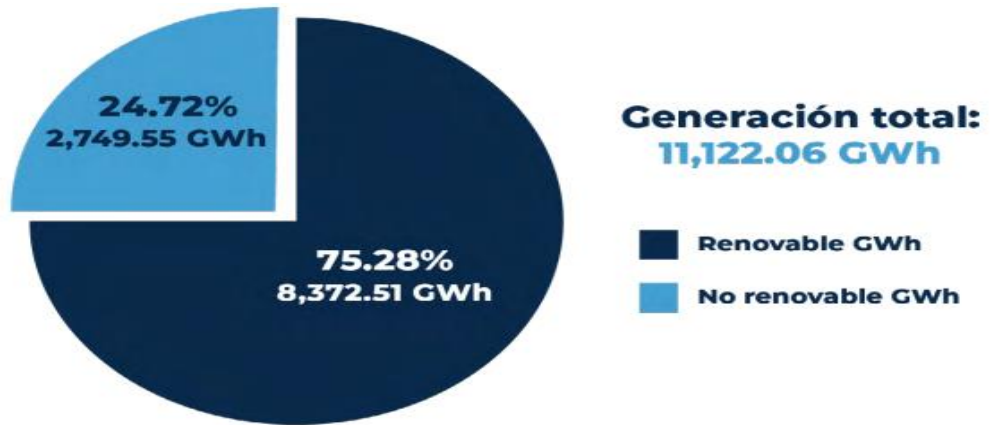
Recuperado de <https://www.pxfuel.com/es/free-photo-xqrqv>

#### **7.1.4. Matriz energética de Guatemala**

Actualmente Guatemala posee una matriz energética con un alto porcentaje de generación con recursos renovables, disminuyendo durante los últimos años el uso de fuentes de generación que utilizan combustibles fósiles. De acuerdo al MEM (2021):

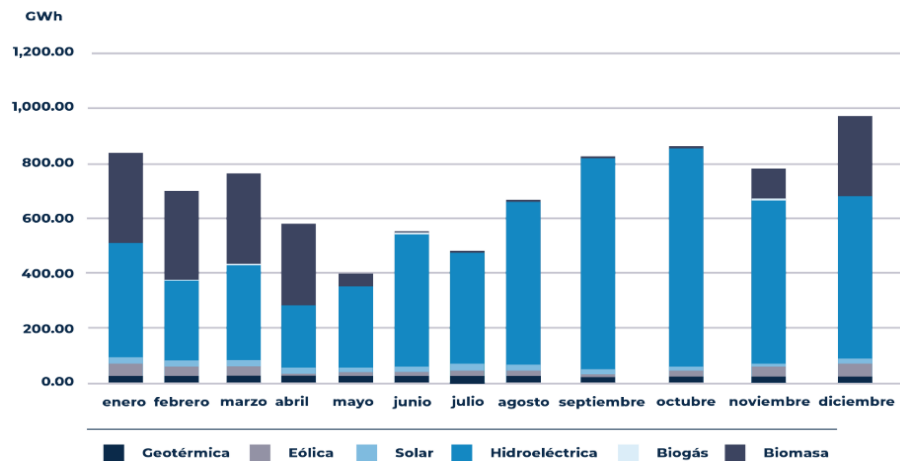
La participación de energía renovable en la matriz de generación eléctrica a diciembre del 2020 es aproximadamente de 75.28 por ciento, es decir, que del total de energía generada a la fecha 11,122.06 GWh, la renovable fue de 8,372.51 GWh. La generación hidroeléctrica presenta la mayor participación con 5,816.54 GWh (p. 10).

Figura 6. **Composición de la generación acumulada año 2020**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Informe general 2020*. Consultado el 16 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>

Figura 7. **Participación de las energías renovables en la generación de energía eléctrica (2020)**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Informe general 2020*. Consultado el 16 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>

### **7.1.5. Sistema de generación solar fotovoltaica**

Un sistema de generación solar fotovoltaico posee diversos componentes eléctricos que permiten la transformación de la energía solar en energía eléctrica, de acuerdo a Frías (2012), “Los sistemas fotovoltaicos pueden estar equipados con acumuladores que durante el día se encargan de almacenar energía que se podrá utilizar por las noches, en días lluviosos, pero que del mismo modo pueden estar interconectados a la red eléctrica” (p. 21).

En Guatemala un sistema de generación solar fotovoltaico puede funcionar en dos modalidades, Frías (2012), nos explica estos 2 tipos de sistemas fotovoltaicos:

- **Autónomos:** En este caso no hay una red de distribución pública disponible, lo que significa que la electricidad que se produce se utiliza de manera directa o utilizando un inversor, y se almacena en baterías para su uso por las noches o en periodos de escases de luz solar.
- **Interconectados a la red:** Este tipo de sistemas se encuentra instalado en lugares donde se cuenta con conexión a la red eléctrica disponible, (...) los excedentes generados por el sistema fotovoltaico se inyectan a la red a través de un medidor bidireccional, una ventaja importante de este tipo de sistemas es que no requiere un banco de baterías por ello, el costo disminuye y lo hace más accesible. (p. 22)

### **7.1.6. Componentes de un sistema de generación solar fotovoltaico**

A continuación, se detallan los diversos equipos que conforman un sistema de generación solar fotovoltaico.



### 7.1.6.1. Celda fotovoltaica

Son fabricadas con materiales semiconductores y su función es transformar la energía solar en energía eléctrica, algunos autores la definen de la siguiente manera:

De acuerdo a Frías (2012):

Las celdas fotovoltaicas, se componen por capas de semiconductores, que están dopados para formar la parte positiva y la parte negativa para dar lugar a la formación del campo eléctrico, pueden ser tipo “p” o tipo “n”, la razón para usar estos materiales, es que a bajas temperaturas funcionan como aislantes y al aumentar la temperatura como conductores. Las células solares están fabricadas con dos o más capas de semiconductores, entre las cuales, se forma un campo eléctrico suficiente como para separar las cargas de signo diferente y permitir la generación de corriente cuando reciben radiación luminosa. (p. 18)

Según Morales (2008), generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 mm<sup>2</sup>. Los materiales para la fabricación de las células solares son:

- Silicio Monocristalino: de rendimiento energético hasta 15 – 17 %
- Silicio Poli-cristalino: de rendimiento energético hasta 12 - 14 %
- Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %;
- Otros materiales: Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio.

Actualmente, el material más utilizado es el silicio monocristalino que tiene prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin. (p. 49)

#### **7.1.6.2. Paneles fotovoltaicos**

Están compuestos por un conjunto de celdas fotovoltaicas. Pueden ser conectados en serie o paralelo, conceptualmente hablando Frías (2012) establece:

En un módulo fotovoltaico, hay un número determinado de celdas que al estar interconectadas producen la cantidad de electricidad que según el caso se requiere, también los módulos pueden interconectarse hasta lograr el voltaje necesario para la iluminación, el bombeo de agua, entre otros. Es importante destacar que las conexiones entre paneles se hacen en serie para alcanzar la salida de voltaje deseada y en paralelo para lograr la cantidad de corriente necesaria. (p.20)

Espitia (2017) hace mención que para obtener la cantidad de energía necesaria para el consumo debemos realizar unión de paneles fotovoltaicos. Es importante considerar que la potencia que puede entregar un módulo fotovoltaico depende del número de sus células que lo compone. Cuando no se obtiene la potencia necesaria para cubrir una determinada demanda se procede a realizar conexiones en serie y en paralelo hasta llegar al valor de potencia deseado.

Figura 8. **Paneles fotovoltaicos**



Fuente: pixabay (2016). *Paneles solares*. Consultado el 25 de septiembre de 2021.  
Recuperado de <https://pixabay.com/es/photos/solar-panel-paneles-solares-1595566/>

### **7.1.6.3. Regulador de carga**

Es una pieza fundamental de un sistema de generación fotovoltaico, tiene varias funciones, entre ellas podemos mencionar según Morales (2008):

- Evita sobrecargas a la batería que puedan producir daños.
- Impide la descarga de la batería en los periodos de luz solar suficiente.
- Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia.

El regulador de carga mantiene constante la tensión, la alimentación del circuito y la carga de baterías. Existen dos tipos: el paralelo o shunt y el tipo serie, los más utilizados son los shunt, el tipo serie es para instalaciones de mayor capacidad.

#### **7.1.6.4. Inversor**

Es un componente eléctrico que permite la transformación de voltaje o corriente directa en alterna, Pérez (2014) indica, “los inversores son los dispositivos que transforman la corriente continua o directa en corriente alterna, con la amplitud y frecuencia requerida por el usuario final de la corriente que usualmente es el distribuidor” (p. 16).

Figura 9. **Inversor**



Fuente: cyanergy (2021). *SolarEdge-Inverter.jpg*. Consultado el 25 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SolarEdge-Inverter.jpg>

#### **7.1.7. Protecciones eléctricas de un sistema de generación fotovoltaico**

Las protecciones eléctricas son de gran importancia en un sistema de generación fotovoltaico ya que nos ayudan a evitar daños que son generados por cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones. Según Pérez (2014):

Las protecciones eléctricas son esenciales para el proyecto, básicamente consiste en poner a tierra tanto las estructuras metálicas de soporte de los paneles como el panel mismo, para reducir las cargas estáticas, con esta medida se limita la tensión que con respecto a la tierra producen las masas metálicas y permitir el paso a tierra de corrientes producidas por fenómenos atmosféricos. La puesta a tierra de los módulos debe realizarse con conductores unidos a los marcos de manera preferentemente atornillada. (p.20)

## **7.2. Mercado eléctrico guatemalteco y normas aplicables para fuentes de generación renovable**

A continuación, se describen las instituciones que conforman el mercado eléctrico de Guatemala.

### **7.2.1. Instituciones del mercado eléctrico guatemalteco**

Los agentes del mercado eléctrico guatemalteco se describen a continuación de acuerdo a Martínez (2016):

- Ministerio de Energía y Minas, MEM: Es el responsable de formular y coordinar políticas y planes de Estado relacionados al sector eléctrico y aplicar la Ley General de Electricidad y su Reglamento.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE: Le corresponden las funciones regulatorias y normativas, posee independencia funcional. Es responsable de determinar los precios y calidad de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorizaciones, con lo cual asegura las condiciones de competencia en el Mercado Mayorista de Electricidad.

- Administrador del Mercado Mayorista, AMM: Es el responsable de la administración y operación del Sistema Nacional Interconectado, coordina el despacho del Sistema Eléctrico Interconectado, establece precios a corto plazo del mercado, realiza las transacciones de compra y venta con lo que asegura el abastecimiento de energía eléctrica.

### **7.2.2. Marco legal**

Existen diversas leyes, reglas y normas relacionadas a la generación de energía eléctrica con recursos renovables, nos establecen los lineamientos para poder desarrollar un proyecto de generación de energía, de acuerdo a Pérez (2014):

El marco jurídico guatemalteco para el sector eléctrico vigente parte de la promulgación de la Ley General de Electricidad, emitida en el año de 1996, esta ley es la base para otras que intervienen en el sector y para una serie de normativa inherentes a la aplicación técnica de casos específicos de los proyectos eléctricos. (p. 4)

Por otra parte, Martínez (2016) menciona las bases legales del mercado eléctrico guatemalteco:

- Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96,
- Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y sus reformas,
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo No. 299-98 y sus reformas,
- Normas Técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica,

- Normas de Coordinación Comercial y Operativa del Administrador del Mercado Mayorista,
- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003,
- Ley de Tarifa Social, Decreto No. 96-2000.

### **7.2.3. Ley General de Electricidad**

La ley general de la electricidad fue creada para promover el desarrollo del mercado eléctrico guatemalteco a través de una competencia mayorista, de acuerdo a Ramírez (2018), “reformó la estructura del subsector eléctrico creando el Mercado Mayorista de Electricidad, proyectando eficiencia y competitividad, fomentando inversión, separando actividades dentro del sector por una solo entidad y abriendo la puerta a la sostenibilidad energética” (p.30).

La Ley General de Electricidad (LGE) establece el procedimiento a seguir en el caso de instalación de obras de generación, transporte y distribución de electricidad. En su Artículo 3, Dicta que el Ministerio de Energía y Minas, es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar esta ley y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones; y en su Artículo 7, regula la Separación de funciones en la actividad eléctrica, es decir, una misma persona, individual o jurídica, al efectuar simultáneamente las actividades de generar y transportar y/o distribuir energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional -SEN- deberá realizarlo a través de empresas o personas jurídicas diferentes. (MEM, 2017, p. 22)

#### **7.2.4. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Energía Renovable**

Esta ley es de suma importancia en el sector eléctrico guatemalteco ya que promueve la utilización de recursos renovables para la generación de energía. El artículo 1 de la ley de incentivos para el desarrollo de energía renovable establece de acuerdo a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE (2003), “se declara de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables. El órgano competente estimulará, promoverá, facilitará y creará las condiciones adecuadas para el fomento de inversiones que se hagan con ese fin” (p. 95).

La principal causa del cambio climático es la utilización de combustibles fósiles, por lo que en la actualidad se promueve implementar a gran escala la utilización de fuentes de energía renovables para contrarrestar el cambio climático. Las bondades de las fuentes que producen energía, con recursos renovables, es que no emiten cantidades significativas de GEI y que mediante un uso adecuado de ellas la fuente de energía es renovable en un tiempo corto, no así los combustibles fósiles. (MEM, 2017, p. 23)

#### **7.2.5. Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR – y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía**

La NTGDR (CNEE, 2008) establece los requisitos que deben cumplir los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para realizar la conexión al SNI, operación, control y comercialización de energía.



La industria eléctrica en sus inicios se fundamentó en la generación centralizada, es decir, la generación cercana a los sitios de consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor; sin embargo, este sistema tuvo restricciones de crecimiento a nomas de 60 kilómetros, por lo que surgió las líneas de transmisión en corriente alterna, para llevar energía a sitios lejanos de los puntos de producción. Guatemala avanza a tener una combinación de los dos sistemas: el convencional y el distribuido, para hacer más eficiente la utilización de los recursos energéticos y es por eso la norma NTGDR. El objeto de esta Norma es establecer las disposiciones generales que deben cumplir los Generadores Distribuidos Renovables y los Distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables. (Pérez, 2014, p. 7)

#### **7.2.6. Política Energética 2019-2050**

La Política Energética 2019-2050 fue creada por el MEM con el fin de crear una red eléctrica más eficiente, competitiva y dar un mejor aprovechamiento a los recursos energéticos.

De acuerdo al MEM (2018) la política energética 2019-2050 considera cinco ejes de acción, siendo estos: Consumo de leña, Abastecimiento y Uso final de la electricidad, Abastecimiento y Uso final de los combustibles, Desarrollo Sostenible y Eficiencia Energética.

### **7.3. Fundamentos metodológicos del diseño de sistemas fotovoltaicos de pequeña escala**

Los aspectos a considerar para el dimensionamiento adecuado de los diversos componentes del sistema de generación solar fotovoltaico se detallan a continuación:

#### **7.3.1. Determinación de la demanda**

Para determinar el consumo máximo de un usuario debemos conocer la potencia de cada equipo o elemento eléctrico a conectar a la red interna, multiplicamos la potencia por el número de horas a utilizar los dispositivos, finalmente sumamos el consumo de cada equipo durante el día y obtendremos el consumo máximo diario.

Por otra parte, las facturas de energía eléctrica mensual nos muestran las mediciones del contador de energía durante todos los días del mes por lo que es posible determinar de una manera más sencilla el consumo máximo de un usuario durante el mes.

#### **7.3.2. Cálculo del número de paneles**

La determinación del número de paneles fotovoltaicos es de gran relevancia en el diseño de un sistema de generación de energía debido a que si establecemos un valor menor al adecuado no cubriremos la demanda que requiere el usuario, también si sobredimensionamos el número de paneles tendríamos exceso de generación lo que incrementaría los costos del proyecto, por lo que debemos realizar una aproximación adecuada al momento de calcular

el número de paneles. De acuerdo a Ramos y Luna (2014) la fórmula para determinar el número de paneles es:

$$NT = \frac{LMD_{crit}}{PMPP * HPS_{crit} * PR}$$

Donde:

- NT = Número Total de paneles
- $LMD_{crit}$  = Consumo medio diario critico (Wh)
- PMPP = Potencia pico del módulo en condiciones estándar STC (W)
- $HPS_{crit}$  = Horas Pico del mes critico (h)
- PR = Factor Global de funcionamiento (p.63).

### **7.3.3. Dimensionamiento del inversor**

El inversor es un dispositivo eléctrico encargado de transformar la corriente directa a corriente alterna para luego ser suministrada a la red de distribución de energía. De acuerdo a Espitia (2017), “Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia” (p.59).

Para determinar el tipo de inversor necesario para el sistema de generación fotovoltaico a diseñar se requiere tener conocimiento de la capacidad del sistema (W), para luego cotizarlo y seleccionar de acuerdo al presupuesto que se tenga.

Adicionalmente Espitia (2017) en su trabajo de investigación establece las fórmulas para determinar el inversor.

Tabla I. **Dimensionamiento del inversor**

<b>Potencia del inversor</b>	$P_{inversor} = \sum P_{Panel} * N^o_{paneles}$
<b>Números de paneles en serie</b>	$N^o_{paneles\ en\ serie} = \frac{V_{Max\ entrada\ inversor}}{V_{OC\ panel}}$
<b>Voltaje máximo de los paneles en serie</b>	$V_{Max\ paneles\ en\ serie} = V_{max\ pot} * N^o_{paneles\ en\ serie}$
<b>Número de ramales en paralelo</b>	$N^o_{ramas\ en\ paralelo} = \frac{N^o_{total\ de\ paneles}}{N^o_{paneles\ en\ serie}}$

Fuente: elaboración propia.

#### 7.3.4. **Dimensionamiento del cableado**

El cableado permite conectar los diferentes componentes del sistema de generación y es de gran importancia el dimensionamiento adecuado para el correcto funcionamiento del equipo.

Según Espitia (2017) el cableado de los paneles fotovoltaicos debe ser fabricado con materiales de alta calidad para garantizar la durabilidad y fiabilidad del sistema en exteriores. También deben tener una capa protectora con un material resistente a la intemperie y la humedad. Es de gran importancia la corriente a transportar y las pérdidas de voltaje.

#### 7.4. **Análisis económico**

A continuación, se describen dos métodos de análisis económico para el presente proyecto de generación de energía eléctrica.

### 7.4.1. Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN)

El valor presente neto nos “muestra cuánto aumentará el valor de la empresa y por tanto cuánto se incrementará la riqueza de los accionistas, siempre que sea positivo” (Pérez, 2014, p. 21).

Álvarez (2017) define el valor presente neto de la siguiente manera:

VPN es la suma, en valor presente, de todos los flujos de caja (positivos y negativos) que ocurren en la actualidad y los que se espera que ocurran durante la vida del proyecto. Según sea positivo o negativo, representará generación o pérdida de valor para la persona o empresa que invierte. Generación de valor es sinónimo de enriquecimiento de los dueños del proyecto, y destrucción de valor lo es de empobrecimiento de ellos. La idea fundamental es: conviene realizar una inversión si ella crea valor para el inversionista. (p.8)

Las fórmulas para determinar el VPN se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II. **Fórmulas VPN**

<b>Fórmula del VPN</b>	$VPN = -I_0 + \frac{FC_1}{(1+i^*)^1} + \frac{FC_2}{(1+i^*)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i^*)^n}$
<b>Fórmula General para el VPN</b>	$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i^*)^t}$
	Donde: $I_0$ : Inversión inicial en el año cero. $FC_t$ : Flujo de caja del proyecto en el año o periodo t (positivo o negativo). $i^*$ : Tasa de oportunidad

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo al trabajo de investigación de Espitia (2017) la mayor desventaja de un análisis de rentabilidad basado en este criterio es que hay que establecer la tasa de interés, esta depende de muchos elementos entre ellos podemos mencionar: los costos de oportunidad, riesgos del tipo de inversión y el valor del dinero.

Los criterios de decisión para el VPN se pueden clasificar de tres maneras, siendo la primera cuando el VPN es mayor que cero, la segunda es cuando el VPN es menor que cero, por último cuando el VPN es igual a cero, a continuación, analizaremos el significado de cada criterio según lo menciona Álvarez (2017):

Tabla III. **Criterios de decisión VPN**

<b>Valor de VPN</b>	<b>Significado</b>
<b>Si <math>VPN &gt; 0</math></b>	Se acepta el proyecto, quiere decir que el dinero que se invierte en el proyecto da una rentabilidad mayor que la tasa de oportunidad.
<b>Si <math>VPN &lt; 0</math></b>	Se rechaza el proyecto, quiere decir que el dinero que se invierte en el proyecto da una rentabilidad esperada menor que la tasa de oportunidad, y por lo tanto se genera una pérdida.
<b>Si <math>VPN = 0</math></b>	Hay indiferencia financiera, pero tampoco debiera realizarse el proyecto, puesto que esta situación de equilibrio entre ingresos y egresos no estaría generando riqueza para los inversionistas.

Fuente: elaboración propia.

#### **7.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La TIR forma parte importante de la evaluación económica de un proyecto, básicamente es la máxima tasa de descuento que puede tener una inversión o proyecto para que sea rentable. La TIR “es la tasa de descuento que forza el

valor presente de los flujos de efectivo esperados de un proyecto para que sea igual a su costo inicial" (Pérez, citado en Besley, 2014).

Álvarez (2017) define la TIR de la siguiente manera:

Matemáticamente, la tasa interna de retorno es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos de un proyecto. En otras palabras, es la tasa de descuento que hace cero al VPN. De modo sencillo: si  $VPN(i) = 0$ , esto implica que,  $i = TIR$ . Al plantear VPN igual a cero se está mostrando que los dineros invertidos en el proyecto ganan un interés igual a la tasa con la cual se descuentan los flujos. Para un proyecto de inversión, matemáticamente la TIR se obtiene resolviendo la tasa  $i$  para el VPN igualado a cero. (p.12)

$$VPN = -Inversión\ inicial + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + i^*)^t} = 0$$

Adicionalmente Espitia (2017) define a la TIR como "la tasa en la que los flujos de entrada y de salida de un proyecto traídos a valor presente se igualan, es la tasa en la cual el VPN se iguala a cero" (p. 78).

Para determinar el valor de la TIR se puede utilizar hojas de cálculo, calculadora financiera y el método de prueba o error. Los criterios de decisión en la TIR se pueden clasificar de la siguiente manera como lo indica Álvarez (2017):

Tabla IV. **Criterios de decisión TIR**

<b>Valor de TIR</b>	<b>Significado</b>
<b>Si TIR &gt; tasa de oportunidad (<math>i^*</math>)</b>	Se acepta el proyecto, es claro que un proyecto se puede realizar si provee un retorno que exceda la tasa de oportunidad.
<b>TIR = <math>i^*</math></b>	Hay indiferencia financiera, lo que significaría que el inversionista debería estar igualmente dispuesto a aceptar o a rechazar el proyecto, con las implicaciones de poder perder ante ligeras disminuciones de los flujos de ingresos futuros que se presenten en el proyecto.
<b>Si TIR &lt; tasa de oportunidad (<math>i^*</math>)</b>	Se rechaza el proyecto.

Fuente: elaboración propia.



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1 Antecedentes**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Energía solar fotovoltaica**

2.1.1. Concepto de energía solar

2.1.2. Radiación solar

2.1.3. Generación eléctrica con energía renovable

2.1.3.1. Generación hidráulica

2.1.3.2. Generación geotérmica

2.1.3.3. Generación eólica

2.1.3.4. Generación con biomasa

2.1.3.5. Generación solar fotovoltaica

2.1.4. Matriz energética de Guatemala

- 2.1.5. Sistema de generación solar fotovoltaico
- 2.1.6. Componentes de un sistema de generación solar fotovoltaico
  - 2.1.6.1. Celda fotovoltaica
  - 2.1.6.2. Paneles fotovoltaicos
  - 2.1.6.3. Regulador de carga
  - 2.1.6.4. Inversor
- 2.1.7. Protecciones eléctricas de un sistema de generación fotovoltaico
- 2.2. Mercado eléctrico guatemalteco y normas aplicables para fuentes de generación renovable
  - 2.2.1. Instituciones del mercado eléctrico guatemalteco
  - 2.2.2. Marco legal
  - 2.2.3. Ley General de Electricidad
  - 2.2.4. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Energía Renovable
  - 2.2.5. Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR – y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía
  - 2.2.6. Política Energética 2019-2050
- 2.3. Fundamentos metodológicos del diseño de sistemas fotovoltaicos de pequeña escala
  - 2.3.1. Determinación de la demanda
  - 2.3.2. Cálculo del número de paneles
  - 2.3.3. Dimensionamiento del inversor
  - 2.3.4. Dimensionamiento del cableado
- 2.4. Análisis económico
  - 2.4.1. Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN)

#### 2.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1. Recolección de datos
- 3.2. Análisis estadístico de la demanda de energía eléctrica
- 3.3. Comparación y selección de paneles solares
- 3.4. Dimensionamiento de los componentes del sistema de generación
- 3.5. Diseño del sistema de generación fotovoltaico
- 3.6. Establecimiento de los requisitos y procedimiento para funcionar como UAEE.

### 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

- 4.1. Valor Actual Neto
- 4.2. Tasa Interna de Retorno
- 4.3. Análisis Beneficio-Costo

### 5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 5.1. Tablas comparativas de cálculos realizados
- 5.2. Presentación del diseño final del proyecto
- 5.3. Análisis de resultados obtenidos
- 5.4. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque de la presente investigación es de tipo cuantitativo, ya que se determinará a través de cálculos matemáticos el dimensionamiento adecuado de un sistema generación fotovoltaico en un centro educativo.

El alcance de esta investigación es descriptivo, dado que se establecerá el equipo necesario para la implementación del sistema de generación fotovoltaico, los requisitos para ser usuario autoprodutor con excedente de energía y el tiempo de recuperación de la inversión.

El diseño adoptado será no experimental, ya que no se realizará manipulación de variables para la realización de la investigación, es decir se realizará únicamente una propuesta para la reducción de costos de energía eléctrica mensual a través del diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico.

### **9.2. Unidades de análisis**

La unidad de análisis será un centro educativo ubicado en el departamento de Escuintla.

### **9.3. Variables**

Las variables y su clasificación se listan en la tabla V:

Tabla V. **Variables y su clasificación**

Variable	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Tipo de usuario de energía		X			X		Nominal
Capacidad del sistema de generación solar fotovoltaico				X		X	Razón
Número de paneles fotovoltaicos			X			X	Razón
Tiempo de recuperación de la inversión				X		X	Razón

Fuente: elaboración propia.

Las variables en estudio se describen en la tabla VI, que observaremos a continuación:

Tabla VI. **Variables en estudio**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
<b>Tipo de usuario</b>	Clasificación del usuario del servicio de energía eléctrica tomando en consideración criterios como nivel de tensión, consumo y potencia.	Se debe establecer el consumo (kWh), nivel de tensión (V) y potencia eléctrica (W).
<b>Capacidad del sistema de generación solar fotovoltaico</b>	Potencia máxima que puede entregar un sistema de generación de energía eléctrica.	Determinar la potencia máxima del sistema (W) tomando en consideración todos los elementos o equipos eléctricos de la red interna de energía eléctrica.

Continuación tabla VI

<b>Número de paneles fotovoltaicos</b>	<b>Cantidad de paneles fotovoltaicos que permiten el funcionamiento correcto de una red de energía eléctrica.</b>	<b>Para determinar el número de paneles solares (adimensional) se debe conocer el consumo diario promedio(kWh) y la generación media de cada panel solar (kWh)</b>
<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b>	Método de valoración de inversiones que mide el tiempo que una inversión tarda en recuperar el desembolso inicial, con los flujos de caja generados en el futuro por la misma.	Establecer a través del método de VPN y TIR el tiempo de recuperación de la inversión (días).

Fuente: elaboración propia.

#### **9.4. Fases del estudio**

A continuación, se describirán las fases del presente trabajo de investigación:

##### **9.4.1. Fase 1: Revisión documental**

En la primera fase se realizará una revisión bibliográfica estableciendo todas las referencias primarias y/o secundarias en relación al tema de la presente investigación, las referencias primarias son documentos cuya información no se obtuvo de otros trabajos de investigación, entre las referencias primarias encontramos: artículos científicos, noticias de prensa, estadísticas públicas o privadas, fotografías, entre otros. Las referencias secundarias son documentos que poseen como fuente de información las referencias primarias, entre las referencias secundarias podemos nombrar: manuales profesionales, columnas de opinión, tesis a nivel de maestría, entre otros.

Para esta investigación se utilizarán libros relacionados al campo de la electricidad, leyes, normas, reglamentos e informes del mercado eléctrico guatemalteco, tesis a nivel de maestría y artículos científicos publicados en internet. Se analizará detenidamente la información recopilada para poder desarrollar el diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico.

#### **9.4.2. Fase 2: Dimensionamiento y diseño de un sistema de generación fotovoltaico**

Para esta fase se realizarán los siguientes pasos:

- Se analizarán las facturas mensuales de energía eléctrica de la institución educativa realizando una comparación de los costos de los últimos 3 años (2,019-2,021) esto permitirá tener un mejor panorama en la fluctuación de los costos mensuales de energía eléctrica y poder establecer la capacidad necesaria del sistema de generación solar fotovoltaico que sustenté la demanda de la institución. Se debe estimar el consumo de energía diario y la potencia demandada máxima de la institución educativa.
- Determinar la radiación que incide sobre el área seleccionada para la implementación del sistema de generación fotovoltaico, se debe considerar la latitud y localidad, de acuerdo al MEM (2018): “Guatemala es un país con un gran potencial solar, que debido a su posicionamiento geográfico, el valor promedio de radiación solar global para todo el país de 5.3 kWh/m<sup>2</sup> al día” (p. 2).
- Se cotizarán paneles fotovoltaicos en el mercado guatemalteco, analizando las siguientes características: tamaño (m.), peso (lb.), potencia pico (W),



voltaje máximo (V), corriente máxima (A), temperatura nominal (°C), eficiencia (%), tipo de panel fotovoltaico.

- Determinar el número de paneles solares necesarios, se requiere conocer la potencia a generar para cubrir la demanda de la institución educativa y la capacidad de cada panel, también se establecerá si el tipo de conexión será en serie o paralelo.
- Seguidamente se calculará el tipo de regulador e inversor, la capacidad y clase del cableado eléctrico, esto dependerá del arreglo de conexión de los paneles fotovoltaicos, el voltaje y la corriente eléctrica del arreglo.
- Establecer las protecciones eléctricas y las dimensiones de la estructura de soporte, se debe realizar un dimensionamiento adecuado para evitar daños en el sistema.
- Se realizará un diagrama eléctrico del sistema de generación fotovoltaico y un plano que mostrará el diseño final del proyecto.
- Finalmente se cotizarán los restantes componentes del GDR en el mercado guatemalteco y así realizar una comparativa de costos, adicionalmente se busca funcionar como usuario autoprodutor con excedentes de energía.

### **9.4.3. Fase 3: Requisitos y procedimiento para conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía**

Para conectarse a la red de distribución de energía como usuario autoprodutor con excedentes de energía se debe contar con una fuente de generación de energía con recursos renovables, estos pueden ser: eólica, hidráulica, biomasa, solar, geotérmica, entre otras. Los pasos a seguir para registrarse como UAEE son:

- Instalar un sistema de generación de energía eléctrica con recursos renovables en el sitio de consumo.
- Descargar y llenar el formulario para UAEE, para conseguirlo se debe visitar la página web de la CNEE o de la distribuidora de energía de la localidad.
- La distribuidora de energía después de ser recibido el formulario por parte del interesado realiza una inspección técnica de las instalaciones.
- Al ser positivos los resultados de la evaluación se procede a la instalación del medidor bidireccional, realizando las siguientes consideraciones de acuerdo a la CNEE (2014): “si es usuario regulado el Distribuidor procederá a la instalación del medidor correspondiente, en un plazo no mayor a 28 días de recibida la notificación por parte del interesado” (p. 2). En caso contrario la CNEE (2014 estipula): “Para el caso de Grandes Usuarios (>100 kW), son ellos los responsables de su sistema de medición” (p. 2).

#### **9.4.4. Fase 4: Análisis económico**

Se realizará un análisis económico para determinar si el proyecto es viable, tomando en cuenta los siguientes métodos de evaluación económica:

- Se utilizará el método del Valor Presente Neto (VPN) descrito en la sección 7.4.1, el VPN es una sumatoria de todos los flujos del proyecto desde la actualidad y la vida útil del proyecto. Utilizando la fórmula descrita en la sección anterior se determinará si el proyecto es viable de acuerdo a los siguientes criterios: Si el VPN es mayor que cero se aceptará el proyecto, si el VPN es menor o igual a cero se rechazará el proyecto.
- En la segunda etapa del análisis económico se considerará el método de la Tasa Interna de Retorno (TIR) explicado en la sección 7.4.2, en donde utilizando una fórmula matemática descrita en la sección anterior se determinará la máxima tasa de descuento que puede tener nuestro proyecto para que sea rentable.

#### **9.5. Resultados esperados**

A través del presente estudio se pretende alcanzar los siguientes resultados:

- Dimensionamiento de los componentes de un sistema de generación fotovoltaico, resumiéndolos en una tabla y realización del diagrama unifilar que muestre el diseño y orden de conexión de los diversos componentes.

- Establecimiento de los requisitos y proceso a realizar para la inscripción del sistema de generación como usuario autoprodutor con excedentes de energía y poder inyectar energía a la red de distribución.
- Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión a través de los métodos de evaluación económica del VPN y TIR, estableciendo el beneficio-costos del proyecto.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para obtener la información de consumo de energía eléctrica de la institución educativa se solicitará autorización a la administración del centro educativo y se recolectarán algunas facturas eléctricas mensuales de los últimos 3 años, se analizará la demanda de energía mensual en kWh y el costo en quetzales, luego a través de medidas de tendencia central se realizarán los cálculos para determinar la media aritmética, mediana y desviación estándar que nos establecerá la calidad de las medidas de tendencia central obtenidas en el análisis de los datos, de acuerdo a los cálculos anteriores se determinará el consumo y costo máximo del centro educativo que permitirán establecer la capacidad del sistema de generación solar fotovoltaico.

Se realizarán cotizaciones de paneles solares en el mercado nacional, comparando a través de tablas y gráficos las siguientes características: tamaño (m.), peso (lb.), potencia pico (W), voltaje máximo (V), corriente máxima (A), temperatura nominal (° C), eficiencia (%), costo (Q.), tipo de panel fotovoltaico. Esto permitirá determinar el modelo de panel fotovoltaico para el diseño del proyecto de generación de energía de la institución educativa.

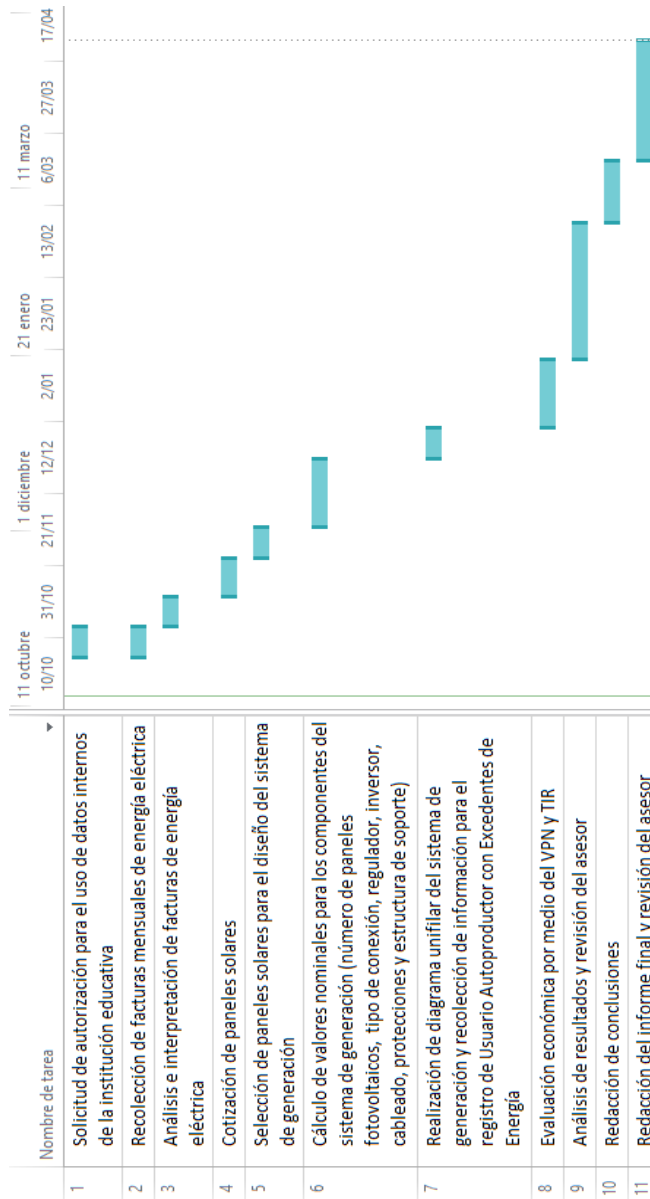
Una vez determinado el modelo de panel fotovoltaico se realizarán cálculos matemáticos para determinar el número de paneles que cubra la demanda máxima del centro educativo, el tipo de regulador, inversor, cableado, protecciones y estructura de soporte.

Para analizar la variable tipo de usuario se evaluará si se cumple con los requisitos que exigen la CNEE y el distribuidor de energía de la región para funcionar como Usuario Autoprodutor con Excedentes de Energía.

Finalmente se utilizarán métodos de evaluación financiera (VPN y TIR) para determinar el tiempo de recuperación de la inversión y el beneficio-costo del proyecto de generación de energía del centro educativo.

# 11. CRONOGRAMA

Figura 10. Cronograma



Fuente: elaboración propia.





## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente estudio cuenta con el permiso de la administración y dueño del centro educativo, por lo que se permite el acceso a las instalaciones, utilización de información sobre consumos de energía eléctrica, toma de fotografías y realización de mediciones. Los recursos a utilizar son:

Recursos humanos: se cuenta con el apoyo del personal operativo y administrativo de la institución, quienes proporcionarán toda la información que se requiera del centro educativo para la realización del sistema de generación fotovoltaico. También se tiene el soporte de un asesor con alto dominio en el campo de generación eléctrica, teniendo amplia experiencia en temas de energía con recursos renovables y leyes del sector eléctrico guatemalteco que serán de gran ayuda para la realización del presente estudio, el asesor revisará con frecuencia los avances del trabajo de investigación e indicará los aspectos a corregir o mejorar.

Recursos tecnológicos: se cuenta con una computadora portátil para el almacenamiento y manejo de la información recolectada, teléfono celular para realización de anotaciones y toma de fotografías de ser necesario, calculadora científica para realización de cálculos aritméticos.

Acceso a la información: el personal administrativo y operativo de la institución educativa se encuentra en toda la disposición de compartir la información necesaria para la realización del presente estudio. También se tienen varios documentos en la web relacionados al tema del trabajo de investigación que servirán de soporte.

Recursos financieros: el estudio se realizará utilizando recursos propios del estudiante, teniendo en cuenta los siguientes gastos:

Tabla VII. **Recursos a utilizar en la investigación**

<b>Recurso</b>	<b>Costo</b>	<b>Financiamiento</b>
<b>Viáticos (combustible y alimentación)</b>	Q.2,000	Propio
<b>Papelería, útiles, impresiones</b>	Q.500	Propio
<b>Internet y software</b>	Q.1,000	Propio
<b>Asesor</b>	Q.2, 500	Propio
<b>Imprevistos</b>	Q.1,000	Propio
<b>Total</b>	<b>Q. 7,000</b>	Propio

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los datos mostrados anteriormente se considera que el presente estudio es factible ya que se cuentan con los recursos suficientes por parte del investigador.

### 13. REFERENCIAS

1. Álvarez, F. (2017). *Técnicas para evaluar financieramente proyectos de inversión*. Universidad ICESI, Cali. Recuperado de [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/83189/1/alvarez\\_tecnicas\\_evaluar\\_2017..pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/83189/1/alvarez_tecnicas_evaluar_2017..pdf)
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2003). *Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable*. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LeydeIncentivosEnerg%C3%ADaRenovable2014.pdf>
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía*. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Preguntas frecuentes sobre usuario autoprodutor con excedentes de energía -UAEE-*. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/docs/GDR/FAQ-UAEE.pdf>
5. Congreso de la República de Guatemala. (2003). *Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable*. Congreso de la

República de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LeydeIncentivosEnerg%C3%ADaRenovable2014.pdf>

6. De León, V. (2008). *Generación eléctrica fotovoltaica en la facultad de ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala y estudio del aprovechamiento*. Escuela de estudios de postgrado USAC, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7779/1/V%C3%ADctor%20Herbert%20De%20Le%C3%B3n%20Morales.pdf>
7. Espitia, C. (2017). *Guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia*. Universidad de Santander, Bucaramanga. Recuperado de <https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/659/1/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20fotovoltaicos%20a%20peque%C3%B1a%20escala%20en%20Colombia.pdf>
8. Frías, T. (2012). *Colector térmico fotovoltaico interconectado a la red*. Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados CIMAV Chihuahua, Chihuahua. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/447/1/Tesis%20Teresa%20Yadira%20Fr%C3%ADas%20Mart%C3%ADnez.pdf>
9. Gastélum, F. (2015). *Diseño, instalación y análisis energético del sistema fotovoltaico del prototipo de vivienda sustentable casa UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal.

Recuperado de  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/81111/Tesis%20de%20maestr%C3%ADa%20-%20Filiberto%20Gast%C3%A9lum%20Michel.pdf?sequence=1>

10. Martínez, B. (2016). *Suministro de energía eléctrica con paneles solares individuales a la aldea Sarranx, Livingston, Izabal*. Escuela de Postgrados de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5816/1/Benedicto%20Estuardo%20Mart%C3%ADnez%20Guerra.pdf>
11. Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Plan Nacional de Energía 2017-2032*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. Recuperado de <http://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>
12. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Energía solar en Guatemala*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/07/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>
13. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Política energética 2019-2050*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>

14. Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Informe general 2020*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>
15. Pérez, J. (2014). *Análisis de viabilidad financiera de inversión en energía de fuente solar fotovoltaica en el departamento de Jutiapa de la república de Guatemala*. Escuela de ciencias de postgrado facultad de ciencias económicas Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03\\_4917.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4917.pdf)
16. Ramírez, J. (2018). *Evaluación técnica-económica de los efectos de la introducción de energías renovables no convencionales al sistema nacional interconectado de Guatemala*. Escuela de estudios de postgrado USAC, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9192/1/Josu%C3%A9%20Miguel%20Ram%C3%ADrez%20Lemus.pdf>
17. Ramos, H., y Luna, R. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca*. Universidad Tecnológica de Salamanca, Chihuahua. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis%20Rafael%20Luna%20Puente%2C%20Humberto%20Ramos%20L%C3%B3pez.pdf>
18. Zeceña, D. (2018). *Impacto de la generación distribuida renovable en el circuito de media tensión de 13.8 kV La Tinta, en el departamento de Alta Verapaz*. Escuela de estudios de postgrado USAC, Guatemala. Recuperado de

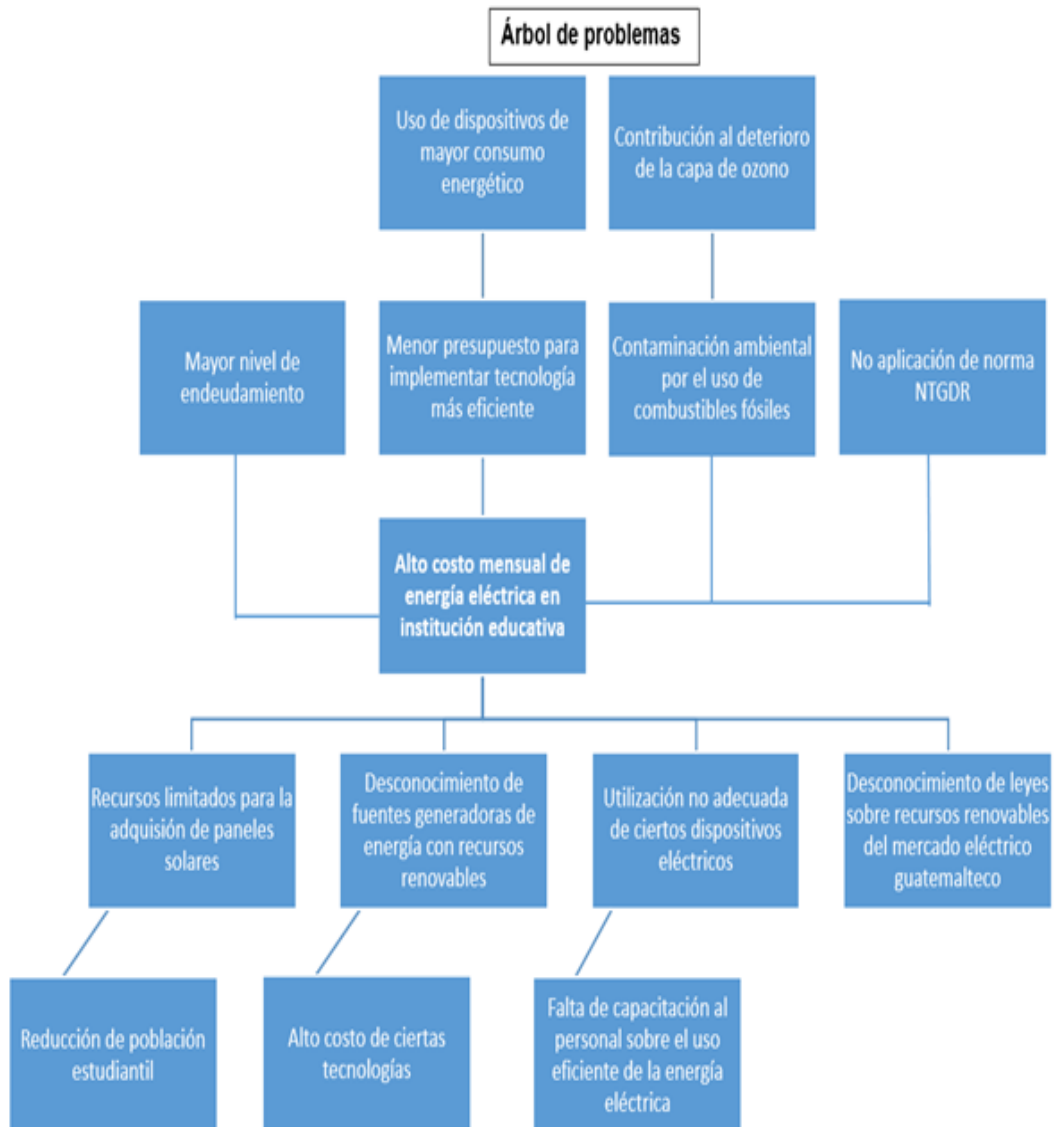
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/12205/1/Douglas%20Eduardo%20Zece%C3%B1a%20Aguirre.pdf>





## 14. APÉNDICES

### Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

Matriz de coherencia					
Título de la investigación	Planteamiento del problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivos	Metodología	Resultados Esperados
<b>Diseño de un sistema de generación fotovoltaico en centro educativo de Escuintla y aplicación como usuario autoproducer con excedentes de energía.</b>	Alto costo mensual de energía eléctrica en institución educativa de Escuintla, Guatemala.	<b>Principal:</b> ¿Cuál es la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de generación fotovoltaico en institución educativa de Escuintla y conectarse a la red de distribución como usuario autoproducer con excedentes de energía para reducir el costo mensual de la factura de energía eléctrica?	<b>General:</b> Establecer la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de generación fotovoltaico en institución educativa de Escuintla y conectarse a la red de distribución como usuario autoproducer con excedentes de energía para reducir el costo mensual de la factura de energía eléctrica.	1) Revisión documental 2) Dimensionamiento y diseño del sistema de generación. 3) Requisitos y procedimiento para conectarse a la red de distribución como usuario autoproducer con excedentes de energía. 4) Análisis económico.	1) Dimensionamiento de los componentes de un sistema de generación fotovoltaico, resumiéndolos en una tabla y realización del diagrama unifilar que muestre el diseño y orden de conexión de los diversos componentes. 2) Establecimiento de los requisitos y proceso a realizar para la inscripción del sistema de generación como usuario autoproducer con excedentes de energía y poder inyectar energía a la red de distribución.

Continuación apéndice 2.

---

<p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué dimensionamiento y diseño debe tener un sistema de generación fotovoltaico?</li> <li>- ¿Cuáles son los requisitos y el procedimiento para conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía?</li> <li>- ¿Cuál es el tiempo de recuperación de la inversión y el beneficio-costo del proyecto?</li> </ul>	<p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer el dimensionamiento y diseño de un sistema de generación fotovoltaico.</li> <li>- Evaluar si se cumple con los requisitos para conectarse a la red de distribución como usuario autoprodutor con excedentes de energía.</li> <li>- Determinar el tiempo de recuperación de la inversión y el beneficio-costo del proyecto.</li> </ul>	<p>3)</p> <p>Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión a través de los métodos de evaluación económica del VPN y TIR, estableciendo el beneficio-costo del proyecto.</p>
---	--	---

---

Fuente: elaboración propia.