



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN GDR DE ENERGÍA SOLAR EN EL MERCADO MAYORISTA DE
GUATEMALA**

Rodolfo Alberto Alvarado Castro

Asesorado por el MA. Ing. Brian Enrique Chicol Morales

Guatemala, junio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN GDR DE ENERGÍA SOLAR EN EL MERCADO MAYORISTA DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RODOLFO ALBERTO ALVARADO CASTRO
ASESORADO POR EL MA. ING. BRIAN ENRIQUE CHICOL MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Sitaví Cos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GDR DE ENERGÍA SOLAR EN EL MERCADO MAYORISTA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrados, con fecha 22 de abril de 2023.

Rodolfo Alberto Alvarado Castro



EEPFI-PP-0390-2023

Guatemala, 22 de abril de 2023

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

Estimado Ing. Rivera

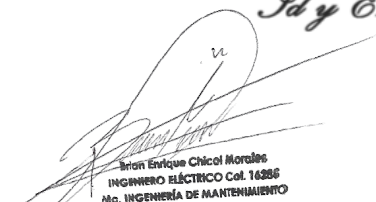
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.


El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GDR DE ENERGÍA SOLAR EN EL MERCADO MAYORISTA DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gerencia Estratégica - Ingeniería de proyectos**, presentado por el estudiante **Rodolfo Alberto Alvarado Castro** con cui **2918507150101**, 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 Industrial.

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"


Brian Enrique Chicol Morales
INGENIERO ELÉCTRICO Col. 16886
Mg. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
Mtro. Brian Enrique Chicol Morales
Asesor(a)


Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador(a) de Maestría




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





EET-EIME-0389-2023

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: **ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GDR DE ENERGÍA SOLAR EN EL MERCADO MAYORISTA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Rodolfo Alberto Alvarado Castro**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.


ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

Guatemala, abril de 2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO TÉCNICO Y FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GDR DE ENERGÍA SOLAR EN EL MERCADO MAYORISTA DE GUATEMALA**, presentado por: **Rodolfo Alberto Alvarado Castro** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Firmado digitalmente por AURELIA ANABELA CORDOVA ESTRADA Fecha: 06/06/2023 09:27:37 p.m. Razón: Orden de impresión Ubicación: Facultad de Ingeniería, USAC.

Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2023

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme vida, salud y sabiduría para seguir creciendo en el ámbito personal y profesional.
Mis padres	Rodolfo Alvarado y Carmen Castro por el apoyo incondicional, consejos, estar siempre a mi lado y amor para lograr este éxito en mi vida.
Mi esposa e hija	Luisa Mazariegos y Valentina Alvarado por ser el motor en mi vida, por brindarme amor, felicidad y apoyo incondicionalmente.
Mis hermanos	Rudy Andree y Gabriela Alvarado por ser parte fundamental en mi vida y brindarme el apoyo necesario para cumplir mis objetivos.
Mis abuelos	Rodolfo Alvarado y Carmelina Toledo por brindarme cariño, apoyo y consejos para mi vida.
Mi abuela	Honorina Sermeño por al amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por permitirme ser miembro de esta universidad.

Ingeniero Brian Chicol por ser un apoyo y guía en mi formación académica profesional.

Ingeniero Luis Fernando Lemus por apoyarme en mi trayecto profesional.

Mi amigo Cesar Arevalo por la amistad brindada y apoyo en la trayectoria de alcanzar nuestra meta universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	5
3.1. Contexto general	5
3.2. Descripción del problema	5
3.3. Preguntas de investigación.....	7
3.3.1. Central	7
3.3.2. Auxiliares	7
3.4. Delimitación	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN	13

7.	MARCO TEÓRICO	17
7.1.	Demanda energética en el ámbito internacional	17
7.1.1.	Demanda energética en Guatemala.....	18
7.2.	Problemas ambientales.....	20
7.2.1.	Principales causas a nivel global.....	22
7.2.2.	Principales causas ambientales de Guatemala.....	23
7.2.3.	Efecto invernadero	24
7.2.4.	Efecto de los contaminantes sobre la salud	26
7.2.5.	Efectos en los ecosistemas	27
7.3.	Energía proveniente del Sol	28
7.4.	Energía fotovoltaica.....	29
7.4.1.	Radiación Solar	30
7.4.2.	Irradiancia e irradiación sobre superficies	31
7.4.3.	La radiación solar en Guatemala.....	32
7.5.	Efecto solar fotovoltaico	33
7.5.1.	Célula fotovoltaica	33
7.5.2.	Composición de la celda fotovoltaica	34
7.5.3.	Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas	35
7.5.4.	Eficiencia de una celda fotovoltaica	36
7.5.5.	Tipos de la célula fotovoltaica	37
7.6.	Sistemas fotovoltaicos.....	38
7.6.1.	Sistemas <i>off grid</i>	39
7.6.2.	Sistemas <i>on grid</i>	40
7.6.3.	Sistemas híbridos.....	40
7.6.4.	Aplicaciones del sistema fotovoltaico	41
7.7.	Elementos del sistema fotovoltaico	42
7.7.1.	Generador fotovoltaico	43
7.7.2.	Baterías.....	44
7.7.3.	Regulador de carga.....	45

7.7.4.	Inversor.....	45
7.8.	Mercado Eléctrico de Guatemala	46
7.8.1.	Ley General de electricidad en Guatemala.....	46
7.8.2.	Ministerio de Energía y Minas.....	47
7.8.3.	Inscripción de un GDR en el ministerio.....	47
7.8.4.	Comisión Nacional de Energía eléctrica	48
7.8.5.	Normas técnicas para un GDR	48
7.9.	Administrador del mercado Mayorista	50
7.9.1.	Normas Coordinación Operativas.....	50
7.9.2.	Normas Coordinación Comercial	50
7.10.	Habilitación de un GDR en Guatemala.....	52
7.11.	Mercado Spot	52
7.12.	Contratos de energía.....	53
7.13.	Estudio financiero	53
7.13.1.	Evaluación de proyectos de inversión	53
7.13.2.	Criterios de evaluación de proyectos.....	54
7.13.2.1.	Ingresos del proyecto	54
7.13.2.2.	Inversión en el proyecto.....	55
7.13.2.3.	Gastos de operación.....	56
7.13.3.	Indicadores a utilizar	57
7.13.4.	La Tasa Interna de Oportunidad (TIO).....	58
7.13.5.	VPN (Valor Presente Neto).....	58
7.13.6.	TIR (Tasa Interna de Retorno).....	59
7.13.7.	Tasa Costo/Beneficio.....	60
7.13.8.	<i>Pay Out</i> (Tiempo en el que se recupera la inversión)	61
7.13.9.	Dividendos	62
7.13.10.	Beneficio neto	63
7.14.	Estudio técnico	63

7.14.1.	Sitio de ubicación	63
7.14.1.1.	Determinación de la radiación	64
7.15.	Dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos	65
7.15.1.	Dimensionamiento de los paneles solares	66
7.15.2.	Inclinación y orientación de los paneles solares.....	67
7.15.3.	Numero de paneles solares.....	67
7.15.4.	Distancia entre paneles	68
7.15.5.	Estructura de soporte y anclaje	69
7.15.6.	Capacidad de la batería	69
7.15.7.	Diseño del banco de baterías.....	70
7.15.8.	Regulador de carga.....	70
7.15.9.	Cálculo para el inversor.....	71
7.16.	Diseño del sistema fotovoltaico para un parque solar de 3 megavatios de potencia.....	71
7.16.1.	metodología de diseño del sistema	72
7.16.2.	Análisis energético	72
7.16.3.	Cantidad de paneles definitivos.....	73
7.16.4.	Banco de baterías	74
7.16.5.	Regulador de carga.....	75
7.17.	Inversiones del proyecto	75
7.17.1.	Inversión Inicial.....	75
7.17.2.	Paneles solares y baterías	76
7.17.3.	Regulador de carga.....	76
7.17.4.	Inversor	77
7.17.5.	Instalación y otros	77
7.17.6.	Precio unitario de la inversión inicial	78
7.17.7.	Ingresos.....	78
7.17.7.1.	Precio de la energía en el mercado SPOT	78

	7.17.7.2.	Evaluación de la inversión	79
	7.17.7.3.	Indicadores	79
	7.17.8.	Egresos	80
	7.17.8.1.	Operarios.....	81
	7.17.8.2.	Mantenimientos	81
	7.17.9.	Tiempo en obtener beneficio del proyecto vendiendo la Energía al mercado a termino	82
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO		85
9.	METODOLOGÍA.....		91
9.1.	Características del estudio		91
	9.1.1.	Enfoque	91
	9.1.2.	Alcance.....	92
	9.1.3.	Diseño	92
9.2.	Unidad de análisis		93
9.3.	Variables.....		93
9.4.	Fases del estudio		94
	9.4.1.	Fase 1: revisión de literatura.....	94
	9.4.2.	Fase 2: recopilación de datos	95
	9.4.3.	Fase 3: análisis técnico	95
	9.4.4.	Fase 4: análisis financiero	95
	9.4.5.	Fase 5: evaluación de factibilidad.....	95
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN		97
11.	CRONOGRAMA.....		99
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO		101

13.	REFERENCIAS	103
14.	APÉNDICES	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Esquema de solución	15
Figura 2.	Regulador de carga	71
Figura 3.	Banco de baterías	74
Figura 4.	Diagrama de actividades	99

TABLAS

Tabla 1.	Tabla de variables.....	93
Tabla 2.	Presupuesto.....	101

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
GW	Giga Watts
Kwh	Kilo watts hora
Kw	Kilo watts
Twh	Tera watts hora

GLOSARIO

Agente	En este contexto, se refiere a una empresa o entidad que genera y vende energía eléctrica en el mercado mayorista.
AIE	Agencia Internacional de Energía.
AMM	Administrador Mercado Mayorista.
Análisis financiero	Evaluación detallada de los costos y beneficios asociados con un proyecto, con el objetivo de determinar su rentabilidad y viabilidad financiera.
Beneficio/costo	Relación entre los beneficios esperados y los costos totales asociados con un proyecto. Se utiliza para evaluar su rentabilidad.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Comisión Nacional de Energía Eléctrica	Entidad encargada de regular y supervisar el sector eléctrico en Guatemala.

EPA	Agencia Protección Ambiental de Estados Unidos (por sus siglas en inglés). Protege la salud de los seres humanos, el medio ambiente y los recursos naturales.
Factibilidad financiera	Capacidad de un proyecto para ser llevado a cabo con éxito, teniendo en cuenta factores financieros como los costos de inversión, los ingresos esperados y la rentabilidad.
Factibilidad técnica	Capacidad de un proyecto para ser llevado a cabo con éxito, teniendo en cuenta factores técnicos como la disponibilidad de tecnología y recursos.
Factibilidad	Capacidad de un proyecto para ser llevado a cabo con éxito, teniendo en cuenta factores técnicos, financieros y ambientales.
Fotovoltaico	Relativo a la conversión de la energía solar en energía eléctrica mediante el uso de células fotovoltaicas.
Fuentes de financiamiento	Medios utilizados para obtener los recursos financieros necesarios para llevar a cabo un proyecto, como préstamos bancarios o inversionistas.
GDR	Generador Distribuido Renovable.
Impacto ambiental	Efecto negativo que un proyecto puede tener sobre el medio ambiente, como la emisión de gases contaminantes o la deforestación.

Impacto social	Efecto negativo que un proyecto puede tener sobre las comunidades locales, como la reubicación forzada o la pérdida de empleos.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
LGE	Ley General de Electricidad.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
Mercado mayorista	Mercado en el que se negocia la compra y venta de energía eléctrica a gran escala, entre generadores y distribuidores.
Mitigación	Acciones tomadas para reducir o evitar los impactos ambientales o sociales negativos asociados con un proyecto.
Normas del AMM	Normas establecidas por el Administrador del Mercado Mayorista de Guatemala (AMM) para regular la operación del mercado mayorista de energía eléctrica en Guatemala.
OMS	Organización Mundial de la Salud.

Potencial solar	Cantidad de energía solar disponible en una región determinada, que puede ser aprovechada mediante sistemas fotovoltaicos.
Regulaciones	Normas establecidas por las autoridades competentes para regular y supervisar una actividad o sector específico.
Rentabilidad social	Capacidad de un proyecto para generar beneficios sociales, como la creación de empleo o la reducción de emisiones contaminantes.
Rentabilidad	Capacidad de un proyecto para generar beneficios económicos.
TIR	Tasa Interna de Retorno.
VAN	Valor Actual Neto.
VPN	Valor Presente Neto.

RESUMEN

Se abordó un problema relacionado con la poca inversión y desarrollo de proyectos de Generación distribuida renovable, que existen dentro del Mercado Mayorista de Guatemala.

El objetivo principal del estudio se enfoca en determinar la factibilidad técnica y financiera para la implementación, desarrollo y crecimiento de proyectos de GDR solar en Guatemala, teniendo como referencia el cumplir con la normativa correspondiente para la implementación de estos.

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación se dividió en la revisión de las normas técnicas y comerciales del mercado mayorista, recopilación de datos de generación de estos proyectos, los análisis técnicos para el desarrollo del proyecto, y la factibilidad financiera para los inversionistas.

La importancia de la investigación es garantizar que existe un beneficio financiero, en un lapso de tiempo determinado al personal que quiera desarrollar un proyecto de este tipo, cumpliendo con la normativa del mercado eléctrico de Guatemala.

1. INTRODUCCIÓN

Lo importante de implementar una GDR fotovoltaica para poder vender energía en el mercado mayorista de Guatemala, permite el aumento de energías renovables en Guatemala, reducción de contaminación ambiental, avances tecnológicos en Guatemala, reducción del precio de la energía eléctrica a los usuarios. Sin embargo, a pesar de que existen avances en las energías renovables en Guatemala, existen muchos generadores que funcionan a través de combustibles fósiles que siguen conectados al sistema eléctrico nacional, esto indica que la contaminación sigue en aumento, el costo de la energía eléctrica dependerá del precio del petróleo a nivel mundial y Guatemala no podrá alcanzar el objetivo de ser un país renovable. A lo largo del tiempo existen personas que han estado interesadas en invertir en proyectos de este tipo, pero al no tener un asesoramiento adecuado, no logran determinar si este tipo de proyecto tienen una factibilidad financiera.

Por las razones y explicaciones anteriormente mencionadas, se plantea el siguiente estudio, en el que se determinará la factibilidad técnica y financiera en la implementación de un GDR fotovoltaica como agente en el mercado mayorista de Guatemala. Así mismo, para la implementación de este proyecto se utilizarán las normas del AMM, las normas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, un estudio financiero donde se determine la factibilidad financiera de la venta de energía en el mercado mayorista de Guatemala.

2. ANTECEDENTES

A mediados del siglo pasado, Guatemala empezó a incluir en diferentes sectores del país energías alternativas, utilizando la energía electromagnética emitida por el sol, que se transmite a través del espacio y llega a la tierra para producir electricidad con recursos renovables. Para la década de los 90, la energía proveniente del sol de manera fotovoltaica ya empezaba a implementarse en la nación, inicialmente se instalaron pequeños generadores para proporcionar energía a los radioteléfonos ubicados en áreas rurales, con planes de instalar sistemas fotovoltaicos más potentes en el futuro para inyectar energía eléctrica al sistema de Guatemala. De igual manera, se iniciaron la implementación de iniciativas de Generación Distribuida Renovable (GDR) en varios departamentos de Guatemala, empleando la energía solar como fuente y conectándolas al sistema eléctrico interconectado del país.

Por su posición geográfica Guatemala, cuenta con radiación solar constante en determinadas zonas del territorio, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar. Este efecto puede durar las 12 horas al día, registrando incluso los índices más altos a escala global. Por lo que, con una menor cantidad de dispositivos fotovoltaicos a diferencia de otros países, es posible abastecer una casa o edificio, haciéndolo solares, más económico y eficiente a un gran plazo. Además, que se puede obtener parques fotovoltaicos de hasta 3 megas de potencia, en horas pico donde la radiación solar es constante y aprovechable.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Contexto general

Alrededor del mundo, como en Guatemala, la necesidad de tener energía eléctrica a través de nuestros recursos renovables cada vez es más indispensable, especialmente por las consecuencias de contaminación ambiental que dejan la generación de energía a través de combustibles fósiles, energía nuclear. Actualmente en Guatemala en época de invierno se tiene un 89 % de energía renovable, la cual es un 86 % de energía hidráulica, 2 % de energía fotovoltaica y 1 % de energía eólica.

Asimismo, en Guatemala al momento de realizar un análisis de factibilidad financiera para iniciar una construcción de una GDR, debe regirse a las normas técnicas y comerciales de la CNEE, AMM, MEM, para poder determinar el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial del proyecto, en este análisis se consideran los costos iniciales de equipos, mano de obra, venta de energía, mantenimiento, operación, el cual conlleva al costo variable de la GDR.

3.2. Descripción del problema

Alrededor del mundo, como en Guatemala, la necesidad de tener energía eléctrica a través de nuestros recursos renovables cada vez es más indispensable, especialmente por las consecuencias de contaminación ambiental, que dejan la generación de energía a través de combustibles fósiles, energía nuclear. Actualmente en Guatemala en época de invierno se tiene un

89 % de energía renovable, la cual es un 86 % de energía hidráulica, 2 % de energía fotovoltaica y 1 % de energía eólica.

Asimismo, en Guatemala al momento de realizar un análisis de factibilidad financiera para iniciar una construcción de una GDR, debe regirse a las normas técnicas y comerciales de la CNEE, AMM, MEM, para poder determinar el tiempo en el cual se recupera la inversión inicial del proyecto, en este análisis se consideran los costos iniciales de equipos, mano de obra, venta de energía, mantenimiento, operación, el cual conlleva al costo variable de la GDR.

Este trabajo pretende analizar el beneficio/costo, que tiene el invertir en un proyecto de GDR fotovoltaico, para la venta de energía eléctrica en el mercado eléctrico de Guatemala.

Se usarán las normas técnicas y comerciales, para regirse al mercado eléctrico de Guatemala; asimismo se analizarán todas las inversiones iniciales que se tienen que hacer, para la implementación de una GDR, precios de equipos, precios de materiales, mano de obra, pruebas iniciales antes de la puesta en marcha, mantenimientos, venta de energía al mercado eléctrico, costo variable de la GDR. Se determinará el tiempo en el cual el agente GDR obtiene beneficio de la inversión inicial del proyecto.

La inversión de proyectos de Generación de energía a través de sistema fotovoltaico, contribuirá a un mercado de energía más limpia, reducción de contaminación y reducción de enfermedades en seres vivos.

3.3. Preguntas de investigación

En los siguientes incisos se describen las preguntas de la investigación.

3.3.1. Central

¿Cómo determinar la factibilidad financiera que tiene la inversión en un proyecto de GDR fotovoltaico?

3.3.2. Auxiliares

- ¿Cuál es el potencial de generación de energía solar en Guatemala y cómo se compara con otras fuentes de energía?
- ¿Cómo se estructura y funciona el mercado mayorista de energía eléctrica en Guatemala y qué regulaciones y políticas energéticas son relevantes para la implementación de un GDR de energía solar?
- ¿Cuáles son los requisitos técnicos para la instalación y operación de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se pueden cumplir?
- ¿Cuáles son los costos asociados con la construcción, operación y mantenimiento de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se comparan con los costos de otras fuentes de energía?
- ¿Cuáles son los principales actores en el mercado mayorista de energía eléctrica en Guatemala y cómo podrían verse afectados por la implementación de un GDR de energía solar?

- ¿Cuáles son los posibles impactos ambientales y sociales de la implementación de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se pueden mitigar?
- ¿Cuáles son los riesgos técnicos, financieros, ambientales y sociales asociados con la implementación de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se pueden abordar?

3.4. Delimitación

- Área de investigación: Estudio de factibilidad Financiera, capaz de determinar cuál es el beneficio para el agente GDR en la inversión de proyectos de energía fotovoltaica.
- Línea de investigación: Factibilidad financiera en proyectos de GDR Fotovoltaicos.
- Delimitación Espacial: Zona Rural, Guatemala.

4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el planeta pasa por una gran crisis climática que repercute en los temas de la obtención de la energía, debido a que los combustibles fósiles que son los principales recursos energéticos, como el carbón, el gas, el petróleo comienzan a agotarse, (recursos NO renovables), en nuestro país un 30 % de la energía eléctrica es obtenida por medio de la generación a través de fósiles y un 65 % es obtenida por la generación de energía hidráulica (producida con agua) que aún es un recurso renovable, sin embargo, podría decirse que con el tiempo tiende a convertirse en la materia terrestre más escasa y buscada para el hombre, todo esto debido a la contaminación que ocasiona el ser humano. Es por esta razón que hay un gran interés en las fuentes de energía renovables, como la energía solar (producida por el sol), la energía eólica (producida por el viento), la energía mareomotriz (producida por el mar) y la energía geotérmica (producida por el calor interno de la tierra), las cuales son amigables con el medio ambiente.

Con este trabajo se quiere mostrar la importancia de implementar más proyectos de GDR a través de energía solar, el beneficio costo que estos proyectos tienen para el dueño del proyecto, la ayuda a la matriz energética del país, y la reducción de contaminación del medio ambiente. Entre las ventajas de la energía solar se tiene que es una fuente inagotable y gratuita de energía, es un sistema limpio, silencioso y amigable con el medio ambiente, ya que no produce emisiones ni gases nocivos, la energía se obtiene y se almacena en el mismo sitio de consumo.

En los últimos años la producción de energía a través de paneles solares ha aumentado, debido a su gran ventaja como es la reducción en el costo de

energía, y a su vez el costo de estos paneles ha bajado por la demanda que tienen para suplir las necesidades de energía, tanto en las ciudades como en los sitios donde la red eléctrica no puede llegar. Por su gran cantidad de ríos, es la principal fuente de energía en Guatemala proviene de las hidroeléctricas y en segundo lugar de la energía térmica, generada a través de fuentes de gas, ambos recursos no renovables.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar la factibilidad financiera del beneficio/costo para al agente GDR en proyectos de Generación de energía eléctrica a través de tecnologías fotovoltaicas.

5.2. Específicos

1. Analizar los costos y beneficios financieros de la implementación de un GDR de energía solar en el mercado mayorista de Guatemala.
2. Realizar una revisión exhaustiva de la literatura y fuentes relevantes para recopilar información técnica y financiera, sobre la implementación de un GDR de energía solar en el mercado mayorista guatemalteco.
3. Estimar la demanda potencial de energía solar en el mercado mayorista de Guatemala, mediante la aplicación de encuestas y análisis estadísticos.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

Algunos requisitos clave que se deben cumplir para implementar con éxito un proyecto, de generación distribuida de energía fotovoltaica en el mercado mayorista de Guatemala. Estos requisitos incluyen la determinación de la factibilidad técnica y financiera del proyecto, el cumplimiento de las normas y regulaciones aplicables, la identificación de la ubicación óptima del sistema, la selección de los componentes adecuados, la realización de un análisis financiero detallado y la garantía de una operación eficiente del sistema a lo largo del tiempo a través del mantenimiento regular y el monitoreo constante del rendimiento del sistema. Se enfatiza la importancia de cumplir con los requisitos técnicos y regulatorios para asegurar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Para ello, es necesario cubrir las siguientes necesidades:

- Identificar la demanda energética del mercado mayorista de Guatemala: es necesario realizar un análisis exhaustivo de la demanda energética actual y futura del mercado mayorista de Guatemala, para determinar el tamaño y capacidad del GDR de energía solar que se requiere.
- Analizar la viabilidad técnica de la implementación del GDR: se deben identificar y evaluar los aspectos técnicos, relacionados con la implementación del GDR, tales como la ubicación, el diseño, la capacidad, la tecnología y la infraestructura necesaria.

- Evaluar la viabilidad financiera del proyecto: se debe realizar un análisis financiero exhaustivo que incluya los costos de inversión, los costos de operación y mantenimiento, los ingresos generados por la venta de energía y los flujos de efectivo proyectados.
- Identificar los incentivos y regulaciones gubernamentales: se debe investigar los incentivos y regulaciones gubernamentales relacionados con la energía solar en Guatemala, para determinar si existen beneficios fiscales y financieros para el proyecto.
- Identificar los riesgos y desafíos: se deben identificar los riesgos y desafíos asociados con la implementación del GDR de energía solar, tales como la fluctuación de precios de la energía, la incertidumbre regulatoria y los riesgos técnicos.

Figura 1.

Esquema de solución



Nota: Esquema de solución. Elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

El marco teórico del estudio se enfoca en proporcionar una base conceptual y teórica para la investigación. Se enfoca en describir la energía solar, las diversas clases de sistemas fotovoltaicos, el mercado mayorista de energía en Guatemala, las normativas que deben cumplirse, al instalar un sistema fotovoltaico de Generación Distribuida Renovable (GDR), y los aspectos técnicos y financieros que se deben tener en cuenta en la evaluación de factibilidad. Además, se revisan estudios previos relacionados con proyectos similares y se discuten las principales tendencias y avances tecnológicos en el campo de la energía proveniente del sol.

7.1. Demanda energética en el ámbito internacional

La demanda eléctrica en el mundo es un tema de gran importancia, debido al impacto que tiene en la economía y el desarrollo sostenible. Acorde a los datos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía en su reporte de 2020, durante el año 2019, se registró un aumento del 2.9 % en la demanda de energía a nivel mundial, lo que se tradujo en un consumo total de 167,000 TeraWatts-hora (TWh).

La demanda energética en el mundo está impulsada por diversos factores, incluyendo el aumento económico, el aumento de la población y el desarrollo de la industria y el sector de transporte. Según la AIE, el sector industrial y el sector de transporte, son los mayores consumidores de energía en el mundo, representando el 37 % y el 20 % de la demanda eléctrica mundial, respectivamente (Agencia Internacional de Energía, 2021).

El aumento de la demanda de energía en el mundo también ha generado a una mayor utilización de fuentes energéticas sostenibles, como la energía producida por el sol y la energía eólica. De acuerdo con la información suministrada por la Organización de las Naciones Unidas, la capacidad de producción de electricidad renovable instalada en todo el mundo, ha experimentado un incremento del 176 % desde 2010, alcanzando un total de 2.537 GW en 2020 (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

Sin embargo, pese a los esfuerzos realizados para aumentar la utilización de fuentes de energía renovable, la generación de energía mediante combustibles fósiles sigue siendo la predominante a nivel mundial. Según la AIE, en 2019, el 84 % de la producción energética a nivel global, se generó a partir de cuerpos fósiles, mientras que el 16 % se generó a partir de fuentes de energía renovable (Agencia Internacional de Energía, 2021).

La demanda energética en el mundo sigue aumentando, debido al crecimiento económico y demográfico del planeta. A pesar de los esfuerzos realizados para incrementar el empleo de fuentes de energía renovable, la producción de energía a partir de combustibles fósiles continúa siendo la predominante a nivel global.

7.1.1. Demanda energética en Guatemala

En Guatemala, el incremento en la demanda energética es un aspecto de gran importancia, debido al crecimiento económico y demográfico que ha experimentado la nación en los últimos años. De acuerdo con el Informe Anual de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) de 2020, la demanda eléctrica neta registrada en 2019 alcanzó los 10.081 GWh, lo que representa un

aumento del 3.5 % en comparación con el año anterior (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2020).

Existen diversos factores han contribuido al incremento de la demanda energética, tales como el incremento del pueblo, el desarrollo de industrias, el crecimiento económico y el sector comercial. Conforme al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el consumo de energía en Guatemala ha experimentado un alza en estas últimas fechas, empujando en gran medida por los sectores industrial y de transporte (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

El crecimiento en la necesidad de energía ha motivado en Guatemala el incremento en la utilización de fuentes de energía renovable, tales como la energía generada a través de la fuerza del agua y la energía producida por el viento. Según el Plan Nacional de Energía 2018-2032, se espera que la capacidad instalada de energía renovable alcance los 3,600 MW en 2032, lo que supone el 70 % de la capacidad total instalada (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

A pesar de los esfuerzos por aumentar el uso de energías renovables, la demanda energética en Guatemala todavía se cubre en gran medida con fuentes de energía no renovable, como los combustibles fósiles. Según la CNEE, en 2019, el 52.4 % de la energía eléctrica generada en Guatemala se produjo a partir de combustibles fósiles, mientras que el 47.6 % se generó utilizando fuentes de energía renovable, según el informe emitido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2020).

En las últimas décadas, se ha debatido sobre la demanda energética a nivel mundial, debido a su influencia en la economía, el medio ambiente y la sostenibilidad del planeta. En términos generales, la demanda energética global

se ha incrementado a causa del desarrollo económico, el aumento de la población y el crecimiento industrial.

Según la información proporcionada por la Agencia Internacional de Energía (AIE), la demanda global de energía ha incrementado en una tasa media anual del 2.3 % en la última década, y se espera que este crecimiento continúe en los años venideros. En 2018, la demanda energética mundial alcanzó los 162,000 TWh, registrando un aumento del 2.3 % respecto al año anterior (Agencia Internacional de Energía, 2021).

A pesar de los esfuerzos realizados para fomentar el uso de fuentes de energía renovable, el uso de combustibles fósiles, como el petróleo, gas y carbón, sigue siendo predominante en todo el mundo, llegando a representar el 84 % de la producción total de energía a nivel global. Estos combustibles se emplean principalmente en la generación de electricidad, el transporte y la industria. Sin embargo, su producción y uso emiten significativas cantidades de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático.

7.2. Problemas ambientales

Las cuestiones relacionadas con el medio ambiente son motivo de gran preocupación en todo el mundo, debido a su impacto en la salud humana, la diversidad y el equilibrio del ecosistema. La contaminación del aire, del agua y del suelo, la extinción de especies, la deforestación y la degradación de los bosques, el cambio climático, el uso excesivo de los recursos naturales y la desertificación son algunos de los problemas ambientales más preocupantes que la humanidad enfrenta en la actualidad (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019).

La contaminación ambiental es una de las mayores amenazas para la salud humana, causando enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer, así como la muerte prematura. La pérdida de biodiversidad y la deforestación son también graves los problemas ambientales que afectan negativamente la calidad de vida y la supervivencia de muchas especies animales y vegetales en todo el mundo (FAO, 2021).

Uno de los principales retos ambientales que enfrenta el mundo es el cambio climático, el cual se debe principalmente a la liberación de gases de efecto invernadero causados por la actividad humana, como la quema de combustibles fósiles y la eliminación de bosques. Adicionalmente, la desertificación es una amenaza creciente para la seguridad alimentaria y la supervivencia de las comunidades que dependen de la agricultura y la ganadería en las regiones áridas y semiáridas del planeta (IPCC, s.f.).

Los problemas ambientales son una preocupación creciente en todo el mundo debido al impacto que tienen en la calidad de vida humana, la biodiversidad y el equilibrio del ecosistema. La polución del entorno es uno de los principales problemas ambientales, este tema tiene efectos en la salud de las personas, así como en el medio ambiente en general.

La polución atmosférica, hídrica y del suelo es ocasionada por diversas razones, como la quema de combustibles de origen no renovable, la agricultura intensiva, la producción y el transporte. La polución del aire, por ejemplo, contribuye a la mortalidad anticipada y a enfermedades, y la polución del agua puede causar problemas gastrointestinales y la pérdida de la vida acuática (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

7.2.1. Principales causas a nivel global

La actividad humana es la principal causa de los problemas ambientales que afectan al planeta a nivel mundial. Algunos de estos problemas incluyen la desertificación, la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica y la contaminación. El cambio climático es un efecto directo de las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico, que provienen en gran parte de la combustión de combustibles fósiles en la generación de energía y la producción industrial. Estas emisiones están contribuyendo al aumento de la temperatura global y cambios en el clima que pueden tener efectos negativos en los ecosistemas y en la salud humana (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019).

La deforestación, por su parte, es otro problema ambiental importante que se debe principalmente a la tala de árboles, para la obtención de madera y la conversión de los bosques en tierras agrícolas y urbanas. La tala de bosques conlleva serias ramificaciones para la variedad de especies animales y vegetales y los beneficios que los ecosistemas nos brindan, como el control del clima y la provisión de agua (FAO, 2021).

Además, la pérdida de biodiversidad también está relacionada con la actividad humana, como la degradación del hábitat, la introducción de especies invasoras y la sobreexplotación de los recursos naturales. La disminución de la diversidad biológica puede generar impactos desfavorables en la alimentación sostenible, el bienestar humano y el progreso financiero.

La contaminación es otro factor esencial en los problemas medioambientales en todo el mundo, ocasionada por la emisión de sustancias perjudiciales y residuos en la atmósfera, el agua y el terreno. La contaminación puede tener graves

repercusiones para la salud humana y el ecosistema, y es causada por actividades como la manufacturación industrial, la agricultura intensiva y el uso de agentes tóxicos (FAO, 2019).

Para solucionar estos problemas, es crucial tomar medidas para disminuir la liberación de gases de efecto invernadero, promover prácticas de gestión forestal sustentable, conservar la biodiversidad y reducir la polución para asegurar un porvenir sostenible para todos.

Además de los factores principales previamente señalados, también es importante tener en cuenta otros factores, como la agricultura de alto rendimiento, la sobreexplotación de recursos pesqueros, el uso de combustibles fósiles, la minería a gran escala y la creación de basura, los cuales también influyen significativamente en el medio ambiente y requieren soluciones inmediatas (FAO, 2019).

7.2.2. Principales causas ambientales de Guatemala

Algunas de las principales causas ambientales en Guatemala, por mencionar algunas son:

- La deforestación: La eliminación de árboles para actividades agropecuarias, la producción de madera y otros usos comerciales es la principal causa de la deforestación en Guatemala. Como resultado, se ha producido una disminución en los hábitats naturales, una pérdida de la diversidad, una erosión del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero (FAO, s.f.).

- La afectación del agua: La polución del agua representa una preocupación significativa en Guatemala, sobre todo en zonas urbanas y periurbanas. Las causas incluyen la descarga de aguas residuales sin tratar, la disposición inadecuada de residuos sólidos y peligrosos, y la aplicación excesiva de productos químicos agrícolas (Meza, 2020).
- La minería a gran escala: La minería a gran escala en Guatemala ha sido objeto de controversia debido a su impacto ambiental negativo. La extracción de minerales ha causado la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de hábitats naturales (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019).
- La falta de educación ambiental: La educación ambiental es fundamental para promover prácticas sostenibles y crear conciencia sobre la importancia de proteger el medio ambiente. En Guatemala, la falta de educación ambiental es un problema que contribuye a la falta de conciencia y acción en relación con los problemas ambientales (Meza, 2020).

7.2.3. Efecto invernadero

En la Tierra se está experimentando un acelerado calentamiento global debido al aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, como resultado de la actividad humana. Aunque el efecto invernadero es un proceso natural y necesario para mantener la vida en el planeta, la quema de hidrocarburos con fines energéticos se ha convertido en la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2022), esta actividad contribuye aproximadamente al 75% de dichas emisiones.

El aumento de la temperatura global tiene graves consecuencias para el clima y la salud humana. Se ha observado un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como sequías, olas de calor e inundaciones, además de una propagación de enfermedades transmitidas por insectos y un aumento en las enfermedades respiratorias debido a la contaminación del aire, de acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, s.f.).

Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se están implementando diversas estrategias a nivel global. La transición a fuentes de energía renovable y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles son algunas de las medidas propuestas. En México, se están implementando programas para conservar los bosques y fomentar prácticas agrícolas sostenibles con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

Es importante tener en cuenta que el efecto invernadero es un proceso natural que regula la temperatura de la Tierra. Sin embargo, la concentración de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), ha aumentado significativamente en la atmósfera desde la era preindustrial. La combustión de hidrocarburos, como el petróleo, el gas natural y el carbón, para producir energía es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo. Además, la producción de alimentos, especialmente la carne y los productos lácteos, también contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, s.f.).

7.2.4. Efecto de los contaminantes sobre la salud

Los elementos tóxicos en el medio ambiente tienen un gran impacto en la salud humana, provocando enfermedades en el sistema respiratorio, cardiovascular, neurológico y en el sistema inmunológico.

Entre los elementos contaminantes presentes en el aire, se pueden encontrar las partículas menores (PM), el ozono de la troposfera (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y el monóxido de carbono (CO). Estos contaminantes son emitidos por fuentes como la industria, el transporte, la agricultura y la generación de energía.

La exposición sobre la contaminación del aire también puede aumentar significativamente el riesgo de enfermedades crónicas, como el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiovasculares. Un estudio de la Universidad de Harvard encontró que incluso niveles bajos de contaminación del aire, están asociados con un mayor riesgo de muerte por cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares.

Además, los contaminantes ambientales también pueden afectar el sistema nervioso, lo que puede resultar en problemas de aprendizaje y comportamiento en los niños. Un informe publicado por Perera, Vishnevetsky, Herbstman, Calafat, Xiong, Rauh y Wang (2012) reveló que los niños que están expuestos a niveles elevados de contaminación atmosférica tienen un riesgo más alto de padecer trastornos relacionados con el espectro autista.

De esta forma, los contaminantes del medio ambiente ejercen un impacto considerable en la salud humana y son responsables de un elevado número de

fallecimientos prematuros en distintas partes del planeta. Por ello, es fundamental emprender acciones para disminuir las emisiones de contaminantes.

7.2.5. Efectos en los ecosistemas

Se refiere a cómo los contaminantes y la actividad humana pueden afectar negativamente a los ecosistemas y su funcionamiento. Según diversos estudios e investigaciones, se ha encontrado que los efectos de los contaminantes sobre los ecosistemas son numerosos y variados.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los contaminantes también pueden afectar a los ciclos biogeoquímicos, es decir, los procesos naturales que regulan la circulación de los nutrientes en los ecosistemas. Por ejemplo, la contaminación del suelo y del agua puede alterar el círculo del carbono, nitrógeno y fósforo, lo que puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas y otros organismos.

Otro efecto negativo de los contaminantes sobre los ecosistemas es la acidificación del suelo y el agua. De acuerdo con la información proporcionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la acidificación puede tener un impacto negativo en la diversidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres, lo que puede llevar a una mayor vulnerabilidad de las especies a enfermedades y cambios ambientales.

La polución ambiental puede tener consecuencias en la cadena alimentaria, pues los contaminantes presentes en el aire y el agua pueden acumularse en los tejidos de los organismos y ser transferidos de un nivel trófico a otro. Esto puede llevar a la contaminación de los alimentos y poner en riesgo la salud de los consumidores. Es importante tomar medidas para reducir la

contaminación y asegurar la calidad de los alimentos que se consumen, afectando así la salud y supervivencia de las especies, que se encuentran en la cima de la cadena. Por ejemplo, los peces contaminados pueden ser consumidos por animales superiores, lo que puede afectar negativamente a la salud de estos animales y a su reproducción.

7.3. Energía proveniente del Sol

La energía fotovoltaica es una fuente de energía renovable que se obtiene a través de la radiación solar. De acuerdo con un reporte emitido en el año 2021 por la Agencia Internacional de Energía, la energía fotovoltaica cuenta con el mayor potencial de crecimiento entre todas las fuentes de energía renovable a nivel mundial. Esta energía puede ser aprovechada mediante diferentes tecnologías, como los paneles solares fotovoltaicos o las centrales solares de concentración.

El aprovechamiento de la energía solar ha experimentado un crecimiento significativo a nivel mundial en los últimos años, gracias a la reducción de los costos de la tecnología y las políticas gubernamentales de apoyo. De acuerdo con el informe más reciente de la Agencia Internacional de Energía (2021), la energía solar sigue siendo una de las fuentes de energía renovable con mayor potencial de expansión, en 2020, se instalaron en el mundo 140 GW de capacidad solar fotovoltaica, un 23 % más que en 2019, lo que representa un récord anual.

Por ende, la energía solar es de las formas de energía reutilizable más prometedoras del mundo, con un enorme potencial de crecimiento y numerosos beneficios ambientales y sociales. Como señala la Agencia Internacional de

Energía (2021), el futuro energético del mundo dependerá cada vez más de la energía solar.

7.4. Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que convierte la luz del sol directamente en electricidad mediante células solares. Según un informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE) publicado en 2021, esta tecnología renovable tiene un potencial de crecimiento significativo en todo el mundo.

En los últimos años, la adopción de la energía solar fotovoltaica ha experimentado un aumento importante, gracias a la reducción en los costos de la tecnología y los incentivos gubernamentales. La AIE informa que en 2020 se registró un récord anual con la instalación de 140 GW de capacidad solar fotovoltaica, lo que representa un incremento del 23 % en comparación con el año anterior.

La energía solar fotovoltaica ofrece una gran cantidad de beneficios para el medio ambiente y la sociedad. Es una fuente de energía renovable y sostenible que puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático, según indica la AIE. Además, puede ser una herramienta valiosa para luchar contra la pobreza energética, proporcionando acceso a electricidad limpia y asequible a comunidades sin acceso a la red eléctrica.

La AIE pronostica que la energía solar fotovoltaica se convertirá en una de las principales fuentes de electricidad en el mundo en las próximas décadas, lo que demuestra que esta tecnología es una prometedora fuente de energía renovable con enormes beneficios ambientales y sociales.

7.4.1. Radiación Solar

La emisión solar es la emisión de energía electromagnética que se emana desde el Sol y alcanza la Tierra. Según la NASA (2013), la emisión solar es la fuente de energía que impulsa el clima terrestre y sostiene la vida en nuestro planeta.

La emisión solar se compone de diferentes tipos de ondas electromagnéticas, que varían según su longitud de onda, la emisión solar se compone de radiación ultravioleta (UV), visible e infrarroja.

La emisión de energía solar puede tener varios efectos en la salud de las personas y en el medio ambiente. De acuerdo con un informe de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los impactos pueden variar dependiendo de diferentes factores la exposición excesiva a la emisión solar puede causar quemaduras solares, envejecimiento prematuro de la piel y cáncer de piel. Además, la emisión solar también puede afectar la calidad del aire y del agua, y contribuir al calentamiento global.

No obstante, la emisión solar también puede ser utilizada como fuente de energía renovable. Según la Agencia Internacional de Energía (2021), la emisión solar es la fuente de energía renovable más abundante y con mayor potencial en todo el mundo. La energía solar puede ser transformada en electricidad, a través de diversas tecnologías, como los paneles solares fotovoltaicos o las centrales solares de concentración.

La energía solar es una fuente de energía vital para la supervivencia de los seres vivos en la Tierra. Sin embargo, su uso también puede generar consecuencias negativas para la salud y el medio ambiente. A pesar de esto, la

energía solar es una importante fuente de energía renovable y está en constante crecimiento en todo el mundo.

7.4.2. Irradiancia e irradiación sobre superficies

La cantidad de energía de luz solar que llega a una superficie plana en un período de tiempo específico se conoce como radiación solar incidente. Según la Agencia Internacional de Energía (2021), la irradiación solar es una medida importante de la disponibilidad de energía solar en un lugar determinado.

La cantidad de energía solar que llega a la Tierra puede fluctuar debido a diversos factores. Según la Agencia Internacional de Energía (2021) los lugares cercanos al ecuador tienden a tener una mayor irradiancia solar que los lugares cercanos a los polos, debido a la posición relativa del Sol y la Tierra.

La cantidad de energía solar disponible en una superficie específica puede ser un factor determinante al considerar la instalación de sistemas de energía solar. Según la Agencia Internacional de Energía (2021) la cantidad de energía solar que, incide en una determinada superficie puede ser una medida útil para predecir la producción de energía proveniente del sol en un lugar específico. Esta información puede ser de gran ayuda para los inversores y desarrolladores al evaluar la viabilidad de los proyectos de energía solar. De esta manera, la irradiación solar puede ser una herramienta importante en la toma de decisiones relacionadas con la energía solar.

También, la irradiación solar y la irradiancia son medidas importantes para entender la disponibilidad de energía solar en un lugar determinado y pueden ser útiles para verificar la viabilidad de proyectos de energía solar. La medida de la irradiación solar es una herramienta esencial para los que desarrollan los

proyectos de energía proveniente del sol y los inversores que buscan aprovechar el potencial de la energía solar.

7.4.3. La radiación solar en Guatemala

La radiación de luz proveniente del sol en Guatemala es un tema relevante, debido a su impacto en la producción de energía y en la agricultura. Según el Ministerio de Energía y Minas (2018), la radiación solar es una de las principales fuentes de energía renovable en Guatemala, con potencial estimado de 5,500 a 7,000 Wh/m² por día.

Debido a su ubicación geográfica, Guatemala recibe una cantidad significativa de radiación de luz proveniente del sol durante todo el año. Según el Ministerio de Energía y Minas (2018) la radiación de luz proveniente del sol en Guatemala varía según la ubicación, la altitud y la época del año, con un promedio anual de 5.5 kWh/m² en la costa del Pacífico y 6.5 kWh/m² en la costa del Caribe.

La radiación solar también tiene un impacto importante en la agricultura en Guatemala. Según el Ministerio de Energía y Minas (2018) la radiación solar es una variable clave en la producción agrícola, ya que influye en la fotosíntesis, el crecimiento y la maduración de los cultivos.

La medición de la radiación solar en Guatemala se realiza mediante el uso de estaciones meteorológicas equipadas con radiómetros solares. Según el INE (2018), la red de estaciones meteorológicas del país mide la radiación solar, entre otras variables meteorológicas, para proporcionar información a los agricultores y otros usuarios interesados.

7.5. Efecto solar fotovoltaico

La conversión fotovoltaica es el proceso por el cual la irradiación de la luz solar se transforma directamente en electricidad mediante el uso de materiales semiconductores. En la repercusión solar fotoeléctrica, la potencia de los fotones de la luz solar se transforma en potencia eléctrica, mediante la producción de conjuntos de electrones y vacantes en un material semiconductor.

El efecto solar fotovoltaico se produce en celdas solares, se refiere a dispositivos que cuentan con capas de materiales semiconductores. Según Green, Ho-Baillie y Snaith (2014), las celdas solares convierten la luz proveniente del sol en electricidad al absorber fotones de luz.

La eficiencia en la conversión de la energía proveniente de la irradiación solar a través del efecto fotovoltaico es uno de los parámetros más importantes en la fabricación de celdas solares. Según Kazmerski (2016) la eficiencia en la conversión de la energía proveniente de la irradiación solar ha aumentado en las últimas décadas, gracias a la investigación en nuevos materiales semiconductores y la mejora de los procesos de fabricación.

7.5.1. Célula fotovoltaica

Las células fotovoltaicas son dispositivos que convierten la energía de la luz solar, directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.

Existen diferentes células fotovoltaicas, cada una con sus propias ventajas y desventajas. Según Green *et al.* (2021) los tipos de células fotovoltaicas más comunes son las células mono cristalino, las células de silicio policristalino, las células de capa fina y las células orgánicas.

Las células mono cristalino son las más eficientes y tienen una vida útil más larga, pero también son más costosas de producir que otras células. Según Pérez y Londoño (2020) las células de silicio mono cristalino tienen una eficiencia de conversión de alrededor del 22 % al 25 %, lo que las convierte en las células más eficientes actualmente disponibles.

Las células de policristalino no son tan eficientes que las células de silicio mono cristalino, pero son más económicas de producir. Según Narayanan *et al.* (2021), las células de silicio policristalino tienen una eficiencia de conversión de alrededor del 15 % al 18 %.

Las células de capa delgada, como las células de telururo de Cadmio (CdTe) y las células de *Copper indium gallium selenide* (CIGS), son más delgadas que las células de silicio y, por ende, requieren menos material. Según Green *et al.* (2018) las células de capa delgada tienen una eficiencia de conversión del 10 % al 20 % y pueden ser fabricadas a un costo menor que las células de silicio.

Por último, las células orgánicas, son células fotovoltaicas basadas en materiales orgánicos, como los polímeros conductores. Según Narayanan *et al.* (2021), las células orgánicas son menos eficientes que las células inorgánicas, con una eficiencia de conversión de alrededor del 5 % al 8 %, pero son más ligeras y flexibles, lo que las hace ideales para aplicaciones en dispositivos electrónicos portátiles y ropa inteligente.

7.5.2. Composición de la celda fotovoltaica

Se refiere al dispositivo que transforma la energía solar en electricidad por medio del efecto fotovoltaico. Estas células están compuestas por varias

subcapas de materiales semiconductores, que trabajan juntos para absorber la luz y generar una corriente de electricidad. Según Green *et al.* (2018) la composición básica de la célula fotovoltaica, incluye una capa superior de material semiconductor tipo p, una capa inferior de material semiconductor tipo n y una interfaz entre ellas llamada unión p-n.

La capa superior de material semiconductor tipo p está dopada con impurezas que crean una deficiencia de electrones. La capa inferior de material semiconductor tipo n también está dopada, pero con impurezas que crean un exceso de electrones. La unión p-n es la interfaz entre las capas p y n, donde se produce la generación de energía. Según Narayanan y Noll (2022) la unión p-n tiene un campo eléctrico, que separa los electrones y los huecos creados por la absorción de la luz, lo que produce una corriente eléctrica.

Además de las capas p y n, las células fotovoltaicas también pueden contener capas adicionales para mejorar su eficiencia. Según Pérez y Londoño (2020), las células de silicio mono cristalino pueden incluir capas anti reflejantes para reducir la reflexión de la luz, así como capas de contacto para recoger la corriente eléctrica generada. Las células de capa delgada, por otro lado, pueden incluir capas adicionales de materiales como telururo de cadmio o sulfuro de cobre-indio-galio para mejorar su eficiencia.

7.5.3. Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas

Los dispositivos solares fotovoltaicos son capaces de transformar la energía solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Su funcionamiento se basa en la absorción de la luz por los materiales semiconductores que los componen, lo que genera la separación de electrones y huecos en la unión p-n, produciendo así una corriente eléctrica. De acuerdo con la investigación de Al-

Jubouri, Al-Majidi y Al-Jubouri (2020) la captación de la radiación luminosa genera una excitación en los electrones, otorgándoles la capacidad de desplazarse a la banda de conducción del compuesto semiconductor y dejando una cavidad en la banda de valencia.

Una vez que se han creado los electrones y los huecos, el campo eléctrico de la unión p-n separa los electrones de los huecos, lo que genera una corriente eléctrica. La producción de energía eléctrica a través de células fotovoltaicas está directamente relacionada con la cantidad de luz solar absorbida y la eficiencia de la propia célula.

La efectividad de los paneles solares fotovoltaicos puede ser mejorada a través del ajuste de varios factores, como la captación de la luz, la separación de cargas y la conducción de la electricidad generada. De acuerdo con los autores Lima, Ramírez, Carvalho, Batista y Freitas (2022), para lograr una mejor contracción de la luz se pueden utilizar materiales con mayores anchuras de energía, mientras que para mejorar la separación de cargas se pueden modificar los paneles solares fotovoltaicos.

7.5.4. Eficiencia de una celda fotovoltaica

La efectividad de una célula fotovoltaica es un parámetro crítico para determinar la cantidad de energía solar, que se puede convertir en electricidad. Lima *et al.* (2022) la efectividad de una célula fotovoltaica se calcula como la relación entre la energía eléctrica generada por la célula y la energía solar incidente sobre ella. Por lo tanto, la efectividad se expresa en porcentaje y representa la proporción de la energía solar que se convierte en electricidad. Por lo tanto, la eficiencia se expresa en porcentaje y representa la división de la energía solar que se convierte en electricidad.

En las últimas décadas, se ha logrado una mejora significativa en la productividad de las células fotovoltaicas, gracias al desarrollo de nuevos materiales semiconductores y la optimización de su estructura, según Lima *et al.* (2022). El récord de eficiencia para una célula fotovoltaica de silicio de una sola unión es del 26.7 %, mientras que el récord para una célula de múltiples uniones es del 47.1 %. Esto demuestra que la productividad de las células fotovoltaicas puede mejorarse mediante el uso de materiales y tecnologías más avanzados.

Además, la eficiencia de una célula fotovoltaica también está influenciada por las condiciones ambientales, como la intensidad de la luz solar y la temperatura, según Lima *et al.* (2022). La eficacia se reduce a medida que crece la temperatura, debido al aumento de la recombinación de portadores y la disminución de la tensión de circuito abierto. Por consiguiente, es primordial considerar las condiciones ambientales al estimar la eficacia de una célula fotovoltaica.

7.5.5. Tipos de la célula fotovoltaica

La energía solar se transforma en electricidad por medio de las células fotovoltaicas. Existe cierto tipo de células fotovoltaicas, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas.

Una de las más comunes es la de silicio cristalino, que se divide en dos categorías: la de tipo p y la de tipo n. Según Lima *et al.* (2022), las células de silicio cristalino representan más del 90 % del mercado fotovoltaico y tienen una eficiencia típica del 15-20 %. Además, las células de silicio cristalino son resistentes y duraderas, lo que las hace adecuadas para aplicaciones a gran escala.

Otro tipo de células fotovoltaicas son las de capa fina, que se fabrican utilizando materiales semiconductores delgados. Según Luque y Hegedus (2019), las células de capa fina tienen una eficiencia típica del 10-15 % y se pueden fabricar en grandes cantidades a bajo costo. Además, las células de capa fina son más flexibles y ligeras que las de silicio cristalino, lo que las hace ideales para aplicaciones en superficies curvas o flexibles.

Las células de película delgada también son un tipo de célula fotovoltaica, que se fabrican utilizando técnicas de deposición de vapor químico y deposición de plasma. Según Luque y Hegedus (2019) las células de película delgada tienen una eficiencia típica del 10 % y se pueden fabricar en grandes cantidades a bajo costo. Además, estas células son ligeras y flexibles, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en dispositivos portátiles y ropa inteligente.

Finalmente, las células de energía solar de concentración son una categoría de células fotovoltaicas, que aprovechan lentes o espejos para focalizar la energía solar en un espacio reducido de células solares. Según Green *et al.* (2019) las células solares de concentración tienen una eficiencia típica del 30-40 % y se utilizan principalmente en aplicaciones de alta potencia. Además, estas células son costosas y requieren de instalaciones especializadas para funcionar correctamente.

7.6. Sistemas fotovoltaicos

Los artilugios fotovoltaicos utilizan células solares para transformar la energía proveniente del sol en energía eléctrica, y han incrementado su popularidad en todo el mundo gracias a su capacidad para generar energía de manera limpia y sostenible.

Estos mecanismos pueden ser clasificados en tres categorías: sistemas aislados, sistemas conectados a la red y sistemas híbridos, que combinan la energía solar con otras fuentes de energía renovable. Los elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico comprenden las células solares, el regulador de carga, la batería, el inversor y los cables de conexión. La efectividad de un sistema fotovoltaico depende de factores como: la calidad de las células solares, la temperatura ambiental y la intensidad de la luz solar, y puede ser medida por su capacidad de transformar la energía solar en energía eléctrica aprovechable.

Los sistemas fotovoltaicos más eficaces son capaces de convertir hasta el 22 % de la energía proveniente del sol en energía eléctrica utilizable (Kalogirou, 2019).

7.6.1. Sistemas *off grid*

Los sistemas *off grid* o los sistemas autónomos de energía eléctrica son aquellos que operan de forma independiente, sin estar vinculados a la red eléctrica tradicional. Estos sistemas utilizan energía renovable, como la energía solar fotovoltaica, para generar la energía y almacenarla en baterías para su uso posterior.

Según Kalogirou (2019), los sistemas *off grid* pueden ser una opción viable, para aquellas áreas donde la conexión eléctrica es difícil o costosa. Además, estos sistemas pueden ser una alternativa con el medio ambiente para aquellos hogares que desean reducir su huella de carbono.

Los sistemas *off grid* pueden ser escalables y personalizables para satisfacer necesidades eléctricas específicas de un hogar o negocio. Sin

embargo, el costo inicial de implementación puede ser alto, lo que puede ser una barrera para algunos usuarios.

7.6.2. Sistemas *on grid*

Los sistemas *on grid*, son aquellos que se encuentran conectados a la red eléctrica tradicional y utilizan fuentes de energía renovable, como la energía generada por células solares fotovoltaicas, para producir electricidad y alimentar la red eléctrica.

Según Farangi, Asl, Zahedifar, Amiri y Poursafar (2020) los sistemas *on grid* son una opción popular para aquellos hogares o negocios, que buscan reducir su dependencia de la electricidad convencional y aprovechar la energía solar para generar su propia electricidad. Además, estos sistemas pueden ser una fuente de ingresos adicionales, a través de la venta de energía generada a la red eléctrica.

De acuerdo con Farangi *et al.* (2020) la integración *on grid* requiere una planificación cuidadosa y una evaluación detallada de las condiciones del sitio, como la ubicación geográfica y la disponibilidad de luz solar. Además, se debe considerar la capacidad de la red eléctrica existente para absorber la electricidad generada por los sistemas *on grid*.

7.6.3. Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos combinan diversas tecnologías de generación de energía, con el fin de mejorar la eficiencia energética y asegurar una provisión de energía constante y confiable. En el ámbito de las fuentes de energía limpias,

estos sistemas a menudo mezclan diferentes tecnologías, incluyendo la solar, la eólica y la hidráulica.

Los sistemas híbridos son una buena solución para aprovechar las ventajas de las diferentes tecnologías de energía renovable y superar las limitaciones individuales de cada una de ellas. Además, estos sistemas pueden mejorar la confiabilidad de energía en áreas remotas, donde las conexiones de red no son una opción viable.

Los sistemas híbridos pueden estar diseñados para funcionar en dos modos principales: modo autónomo y modo conectado a la red (*on-grid*). En el modo aislado, el sistema produce y almacena su propia energía, mientras que, en el modo conectado a la red, el sistema se encuentra interconectado a la red eléctrica principal y tiene la capacidad de exportar el exceso de energía generada.

7.6.4. Aplicaciones del sistema fotovoltaico

Algunas de las aplicaciones más comunes de los sistemas fotovoltaicos:

- **Electrificación rural:** Los sistemas fotovoltaicos se utilizan con el fin de proporcionar energía eléctrica en zonas rurales donde la red eléctrica no llega. Estos sistemas son además utilizados para la iluminación, refrigeración y bombeo de agua.
- **Sistemas de empuje de agua:** Las instalaciones de energía solar fotovoltaica son utilizadas para suministrar energía a equipos de bombeo de agua, que son utilizados para diversas aplicaciones, como el riego, el suministro de agua potable y otros usos. Estos sistemas son

especialmente útiles en zonas rurales y remotas donde la energía eléctrica es limitada o inexistente.

- **Sistemas de refrigeración:** Los sistemas fotovoltaicos se utilizan para la alimentación de sistemas de refrigeración, que se utilizan en aplicaciones como la conservación de alimentos y medicamentos en zonas rurales y remotas.
- **Sistemas de telecomunicaciones:** Se usan sistemas solares fotovoltaicos para suministrar energía a infraestructuras de telecomunicaciones como torres de comunicación celular, radios y repetidores. Estos sistemas son especialmente útiles en zonas remotas donde la energía eléctrica es limitada o inexistente.
- **Sistemas de iluminación:** Los sistemas solares fotovoltaicos se emplean para brindar luz en áreas rurales y alejadas donde la electricidad es escasa o inexistente.

7.7. Elementos del sistema fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica se refiere a una de las tecnologías más utilizadas para la producción, de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Los sistemas fotovoltaicos están compuestos por múltiples componentes que trabajan juntos para transformar la energía producida por el sol, en electricidad que se puede utilizar en diversas aplicaciones. A continuación, se detallan elementos más importantes de los sistemas fotovoltaicos:

- **Paneles solares fotovoltaicos:** son los dispositivos encargados de convertir la energía solar en electricidad. Los paneles están hechos de materiales semiconductores, como el silicio, que absorben la luz solar y generan una corriente eléctrica.

- Inversor: el elemento responsable de convertir la corriente continua generada por los módulos solares en corriente alterna, que se utiliza en la mayoría de los sistemas eléctricos, se conoce como el dispositivo inversor.
- Baterías: a menudo se utilizan baterías para almacenar la electricidad generada por los módulos fotovoltaicos para su uso en momentos en los que no hay sol o para su uso posterior.
- Cables y conductos: se utilizan para transportar la electricidad generada desde los módulos fotovoltaicos al inversor y al sistema eléctrico que alimenta.
- Controladores de carga: a menudo se utilizan en sistemas de baterías solares para controlar la carga y la descarga de las baterías, asegurando así que se carguen y descarguen correctamente para prolongar su vida de funcionamiento.
- Seguidores solares: dispositivos que permiten que los paneles solares sigan el sol con forme se mueve por el cielo, maximizando la cantidad de luz solar los cuales los paneles reciben y, por ende, la cantidad de electricidad que generan.

7.7.1. Generador fotovoltaico

La conversión de la energía solar en energía eléctrica se logra mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos, que contienen células fotovoltaicas conectadas en serie o en paralelo. La radiación solar se transforma en energía eléctrica continua gracias a estas células fotovoltaicas que componen los paneles solares.

Cuando se habla de generador fotovoltaico, se hace referencia a la agrupación de células fotovoltaicas interconectadas que forman un panel solar. Según Farangi *et al.* (2020) el generador fotovoltaico es “la asociación de un

conjunto de módulos fotovoltaicos interconectados eléctricamente con el fin de suministrar una cierta cantidad de energía eléctrica” (p. 3).

El tamaño del generador fotovoltaico depende de la cantidad de electricidad que se requiera generar, y se puede diseñar para satisfacer las necesidades de cualquier aplicación.

De acuerdo con Gargiulo y Petrone (2016), el generador fotovoltaico puede ser clasificado en dos tipos: El sistema fotovoltaico se puede clasificar en dos tipos, uno de ellos es utilizado para aplicaciones fuera de la red eléctrica convencional, como en viviendas remotas, y se conoce como generador fotovoltaico autónomo. Mientras tanto, el otro tipo se utiliza en aplicaciones donde la energía eléctrica generada se inyecta a la red eléctrica principal, como en empresas y fábricas, y se llama generador fotovoltaico conectado a red.

7.7.2. Baterías

Las baterías son dispositivos que almacenan energía química y la convierten en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica. Son ampliamente utilizadas en dispositivos electrónicos portátiles, vehículos eléctricos y sistemas de energía renovable.

Según Tarascon y Armand (2001) una batería está compuesta por dos electrodos, uno positivo y otro negativo, separados por un electrolito que permite el flujo de iones entre ellos. Durante la descarga de la batería, los electrones fluyen del electrodo negativo al positivo, mientras que los iones se desplazan en la dirección opuesta a través del electrolito. Durante la carga, el proceso se invierte y los electrones son forzados a regresar al electrodo negativo.

Las baterías pueden clasificarse según su química, tamaño y uso. Según Tarascon y Armand (2001), las baterías más comunes incluyen las de ion de litio, níquel-cadmio, plomo-ácido y zinc-carbono. Cada tipo tiene diferentes propiedades en términos de capacidad, durabilidad, costo y seguridad.

7.7.3. Regulador de carga

Según Paredes, García y Martínez (2018) “El regulador de carga es un dispositivo electrónico que protege la batería contra sobrecarga y descarga profunda, asegurando así su vida útil” (p. 197).

Además, los autores indican que los reguladores de carga, también ayudan a mejorar la productividad del sistema, ya que permiten maximizar la energía de la batería y evitar la pérdida de energía.

En una investigación realizada por Paredes, García y Martínez (2018), se evaluaron diferentes tipos de reguladores de carga en un sistema fotovoltaico de pequeña escala. Los autores concluyeron que “el uso de reguladores de carga mejoró significativamente el rendimiento del sistema, aumentando la eficiencia energética y la durabilidad de la batería” (p. 4).

7.7.4. Inversor

De acuerdo con la definición de Tarascon y Armand (2001) se entiende que un inversor es un equipo que transforma la electricidad en corriente continua generada por un sistema fotovoltaico en corriente alterna utilizable en un hogar o en la red eléctrica pública.

Existen diferentes tipos de inversores para sistemas fotovoltaicos, incluyendo inversores de cadena, inversores centrales y microinversores. Los inversores de cadena son los más utilizados en sistemas de paneles solares conectados en serie. Los inversores centrales, por otro lado, se utilizan en sistemas de paneles solares más grandes y suelen estar conectados a varios paneles solares en paralelo. Los microinversores se utilizan en sistemas de paneles solares de pequeña escala y se conectan a un solo panel solar (Tarascon y Armand, 2001).

Para un sistema fotovoltaico, los inversores no solo se encargan de convertir la corriente continua en corriente alterna, sino que también pueden desempeñar otras funciones fundamentales, como la supervisión del rendimiento de los paneles solares y la detección de problemas en el sistema. De acuerdo con el grupo de Energía de los Estados Unidos (2018), los inversores son una parte esencial de cualquier sistema fotovoltaico. Muchos inversores modernos también incluyen características adicionales como la capacidad de conectarse a internet para la monitorización remota del sistema, la integración con baterías de almacenamiento de energía y la compatibilidad con tecnologías de carga de vehículos eléctricos.

7.8. Mercado Eléctrico de Guatemala

A continuación, se describen algunas de las leyes del Mercado Eléctrico en Guatemala.

7.8.1. Ley General de electricidad en Guatemala

En Guatemala, la regulación del sector eléctrico se encuentra establecida en la Ley General de Electricidad (LGE), la cual busca asegurar que la población

del país tenga acceso a energía eléctrica de alta calidad. Para supervisar y regular el sector eléctrico, existe un organismo autónomo llamado la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), la cual establece los requisitos y normas que deben cumplir todas las empresas involucradas en el sector de electricidad en Guatemala.

La legislación energética guatemalteca, conocida como la Ley General de Electricidad (LGE), requiere que cualquier entidad que busque generar electricidad en el país debe obtener una licencia de generación otorgada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). Además, la LGE establece que el gobierno debe promover y fomentar la generación de energías renovables, como la solar y eólica, con el objetivo de garantizar el acceso a una energía de calidad para toda la población. En caso de no cumplir con las normas y requisitos establecidos por la CNEE, las empresas pueden enfrentar sanciones y multas.

7.8.2. Ministerio de Energía y Minas

El Ministerio de Energía de Guatemala es el encargado de la planificación, coordinación y ejecución de los programas de electrificación rural, así como de establecer objetivos y metas en la promoción de la energía renovable. Según un informe del Ministerio, durante el periodo de 2016 a 2019 se logró electrificar 3,845 comunidades rurales y beneficiar a más de 324,000 familias en todo el país (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

7.8.3. Inscripción de un GDR en el ministerio

En Guatemala, la inscripción de un Generador Distribuido Renovable (GDR) en el Ministerio de Energía y Minas, requiere seguir los procedimientos y cumplir con los requisitos establecidos en las leyes y regulaciones del país. El

artículo 4 del Decreto 93-2000 del Congreso de la República de Guatemala establece que se requiere una autorización previa de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas para construir, operar, ampliar o modificar proyectos de generación de energía eléctrica.

7.8.4. Comisión Nacional de Energía eléctrica

En Guatemala, el mercado eléctrico está regulado por una entidad creada en 1996 mediante la Ley General de Electricidad. Esta organización se encarga de fiscalizar y regular la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en el país, así como de otorgar concesiones a los agentes del mercado eléctrico. Además, tiene la responsabilidad de supervisar y controlar el cumplimiento de las obligaciones contractuales y fijar las tarifas para el suministro de energía eléctrica a los usuarios finales. La entidad está liderada por un equipo de cinco comisionados, quienes son designados por el presidente y ratificados por el Congreso de la República.

La Comisión cuenta con personal técnico especializado en diversas áreas de electricidad, para poder cumplir con sus objetivos de regulación y supervisión.

La existencia de la CNEE ha permitido ampliar la calidad del suministro de electricidad en el país, así como garantizar la transparencia y la competencia en el mercado eléctrico guatemalteco.

7.8.5. Normas técnicas para un GDR

La IEEE 1547. La norma 1-2018 es una regulación del IEEE que define las especificaciones técnicas necesarias para conectar sistemas de generación distribuida a una red eléctrica de un servicio público de energía eléctrica. La

norma brinda directrices para proteger y operar los sistemas de generación distribuida, que incluyen la coordinación de protecciones, control de voltaje y frecuencia, y la interconexión con la red eléctrica.

En Estados Unidos, la regulación de la generación distribuida es tarea de la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC) y las Plan Contable Unificado (PUC) por sus siglas en inglés de cada estado.

En México, la normativa técnica que regula la conexión de generación distribuida se establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. Esta norma establece los criterios necesarios para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas en alta, media y baja tensión. La NOM-001-SEDE-2012 proporciona las pautas técnicas y de seguridad que deben seguirse para garantizar la correcta conexión y funcionamiento de los sistemas de generación distribuida en el país.

Además de la NOM-001-SEDE-2012, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en México ha publicado diversas disposiciones y lineamientos relacionados con la implementación de la generación distribuida. Entre estos se incluyen el Lineamiento para la interconexión de centrales eléctricas de generación distribuida y el Lineamiento para la medición de energía eléctrica en centrales eléctricas de generación distribuida. Estos lineamientos establecen las medidas y acciones específicas que deben llevarse a cabo para la correcta implementación y medición de la energía generada por los sistemas de generación distribuida en el país.

7.9. Administrador del mercado Mayorista

De acuerdo con la CNEE (2019), el AMM coordina las transacciones de energía eléctrica en el mercado mayorista, gestiona acuerdos de proveeduría y asegura el suministro de energía a los usuarios finales. Además, el AMM es responsable de gestionar los costos del mercado mayorista y establecer tarifas y precios justos para la energía eléctrica.

El AMM también es responsable de establecer, aplicar las reglas y procedimientos para el mercado mayorista de energía eléctrica. Estas reglas y procedimientos están diseñados para garantizar la transparencia y la competencia en el mercado eléctrico y para garantizar que todos los participantes sean tratados de manera justa.

7.9.1. Normas Coordinación Operativas

Las normas de coordinación operativas son pautas que establecen cómo se deben llevar a cabo las tareas y procedimientos de trabajo en un entorno organizacional para garantizar una gestión efectiva y eficiente.

Según Avelar-Sosa y González-Rodríguez (2020), las normas de coordinación operativas son “un conjunto de procedimientos, políticas y reglas que definen las actividades diarias de la organización y que están orientadas a asegurar la eficiencia, la eficacia y la calidad de las operaciones” (p. 105).

7.9.2. Normas Coordinación Comercial

Las normas de coordinación comercial son pautas que se establecen para asegurar la eficacia y eficiencia de la gestión comercial en una organización.

Según Avelar-Sosa y González-Rodríguez (2020), las normas de coordinación comercial son “un conjunto de reglas, procedimientos y prácticas que se utilizan para mejorar la coordinación entre los diferentes departamentos y funciones comerciales de la organización” (p. 74).

La implementación efectiva de las normas de coordinación comercial es fundamental, para la implementación de las actividades comerciales en una organización, ya que garantiza la coherencia y la consistencia en la toma de decisiones y la ejecución de tareas. Además, las normas de coordinación comercial también son importantes para la adaptación de la organización a los cambios en el entorno competitivo (Avelar-Sosa y González-Rodríguez, 2020).

La implementación de las normas de coordinación comercial también requiere la participación de los diferentes departamentos y funciones comerciales de la organización, y una comunicación clara y efectiva de los objetivos y procedimientos a los empleados (Galiana-Sánchez y Garrido-Moreno, 2018). Además, se deben determinar los mecanismos de seguimiento y evaluación para garantizar que las normas se cumplan y se ajusten según sea necesario (Avelar-Sosa y González-Rodríguez, 2020).

Las normas de coordinación comercial son esenciales para la gestión efectiva y eficiente de las actividades comerciales en cualquier organización. Su implementación adecuada para mejorar la coherencia y la consistencia en la toma de decisiones y la ejecución de tareas, y se deben establecer mecanismos de seguimiento y evaluación para obtener su éxito continuo.

7.10. Habilitación de un GDR en Guatemala

La habilitación de un GDR (Gestor de Residuos) en Guatemala, es un proceso importante para mejorar la gestión de residuos en el país. Según la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, por sus siglas en inglés) (2019), la gestión de residuos en Guatemala enfrenta desafíos significativos debido a la falta de recursos, infraestructuras y tecnologías adecuadas.

La habilitación de un GDR en Guatemala puede ayudar a abordar estos desafíos, al permitir la gestión de residuos de manera más eficiente y efectiva (JICA, 2019). Además, la habilitación de un GDR también puede generar empleos y promover el desarrollo económico local (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, 2020).

7.11. Mercado Spot

El mercado spot se utiliza comúnmente en la industria energética para la negociación de petróleo, gas natural y electricidad. También se utiliza en el mercado de divisas para la negociación de monedas extranjeras (Avelar-Sosa y González-Rodríguez, 2020).

Una de las bondades del mercado al contado es que permite a los interesados y vendedores negociar precios en tiempo real y aprovechar las oportunidades que ofrece el mercado. Según Broussard (2019), esto puede ayudar a disminuir los costos de producción y mejorar la eficiencia en la cadena de suministro.

Sin embargo, también hay algunos riesgos asociados con el mercado spot. Según indica Avelar-Sosa y González-Rodríguez (2020), los precios pueden

mostrar gran inestabilidad y sufrir variaciones abruptas ante cambios en la oferta. Además, la falta de contratos a largo plazo puede generar incertidumbre para los productores y compradores.

7.12. Contratos de energía

Los contratos de energía son acuerdos entre compradores y vendedores de energía, que establecen los términos y condiciones de la compra y venta de energía. Según Prishchepa y Proskuryakova (2020), estos contratos pueden ser a largo plazo, a corto plazo o para entrega inmediata, dependiendo de las necesidades de las partes involucradas.

Uno de los principales beneficios de los contratos de energía a largo plazo, es la estabilidad que ofrecen a ambas partes. Como señala Prishchepa y Proskuryakova (2020), estos contratos pueden ayudar a los productores de energía a obtener financiamiento y planificar su producción a largo plazo, mientras que los compradores de energía pueden asegurarse de tener un suministro constante y predecible.

7.13. Estudio financiero

En los siguientes incisos se describe el estudio financiero que se realizó para la ejecución del proyecto.

7.13.1. Evaluación de proyectos de inversión

La evaluación de proyectos de inversión es un proceso clave para determinar la viabilidad y rentabilidad en una inversión propuesta. Según Navarro y Molina (2018), la evaluación de proyectos implica analizar tanto los costos como

los beneficios esperados del proyecto y compararlos con los recursos disponibles.

Uno de los métodos más utilizados para la evaluación de proyectos es el análisis costo-beneficio (ACB), que permite comparar los costos y los beneficios de una inversión propuesta en términos monetarios. Según García y González (2019), el ACB también puede utilizarse para evaluar los impactos sociales y ambientales de un proyecto.

Otro método común de evaluación de proyectos es el análisis de rentabilidad, que mide la rentabilidad de una inversión conforme el tiempo. Según Navarro y Molina (2018), el análisis de rentabilidad es útil para determinar la tasa de retorno esperada y el tiempo que tomará para recuperar la inversión.

La evaluación de proyectos también debe considerar factores de riesgo e incertidumbre. Según Pérez y Londoño (2020), los métodos de evaluación de proyectos deben incluir análisis de sensibilidad y simulación para evaluar los posibles impactos de la variación de los parámetros en los resultados del proyecto.

7.13.2. Criterios de evaluación de proyectos

Se muestran los criterios de evaluación para el desarrollo del proyecto en estudio.

7.13.2.1. Ingresos del proyecto

Los ingresos del proyecto son una parte fundamental de la evaluación de la viabilidad y rentabilidad de una inversión. Según González y Santibáñez

(2019), los ingresos del proyecto se definen como los flujos de efectivo que se obtienen por la venta de los productos o servicios del proyecto.

Los ingresos del proyecto pueden clasificarse en ingresos ordinarios y extraordinarios. Los ingresos ordinarios son aquellos que se generan por la actividad principal del proyecto, mientras que los ingresos extraordinarios son aquellos que se generan por actividades secundarias o complementarias al proyecto (Pérez y López, 2018).

Es relevante tomar en cuenta la previsión de los ingresos a lo largo del tiempo en un proyecto. De acuerdo con la investigación de González y Santibáñez (2019), el estudio de la evolución de los ingresos es fundamental para establecer la estabilidad y la perdurabilidad de un proyecto.

Es relevante la fijación de precios de los artículos o servicios del proyecto. Según Jasso y Ramírez (2017), la fijación de precios adecuada es esencial para maximizar los ingresos del proyecto y, por lo tanto, su rentabilidad.

7.13.2.2. Inversión en el proyecto

Las inversiones del proyecto se refieren a los recursos financieros que se destinan para poner en marcha la actividad principal del proyecto. Según Lozano y Moreno (2019), las inversiones del proyecto incluyen la adquisición de activos fijos, la implementación de personal, los costos de diseño y desarrollo, entre otros.

Es importante distinguir entre las inversiones de capital y las inversiones de gastos operativos. Las inversiones de capital se refieren a los gastos que se realizan para adquirir activos fijos que son necesarios para el proyecto, como la

construcción de un edificio o la compra de maquinaria. Las inversiones y los gastos operativos se relacionan con los costos esenciales para ejecutar la actividad principal del proyecto, tales como los costos de personal o los gastos de diseño y desarrollo. (Castro y González, 2018).

Además, las inversiones del proyecto pueden ser clasificadas como inversión inicial y reinversiones. Cantidad de dinero necesaria para iniciar el proyecto es lo que se conoce como inversión inicial, en cambio, las reinversiones son aquellas inversiones necesarias para mantener y mejorar el proyecto con el paso del tiempo (Echeverría y Hernández, 2020).

7.13.2.3. Gastos de operación

Los gastos de operación son aquellos gastos necesarios, para mantener en funcionamiento el proyecto o negocio.

Según Rojas y Ramos (2018), los gastos de operación incluyen el alquiler de oficinas, los servicios públicos, el pago de salarios y beneficios, el mantenimiento de equipos y otros gastos similares.

Es importante distinguir entre los gastos fijos y los gastos variables en los gastos de operación. Los gastos fijos son aquellos gastos que se mantienen constantes sin importar el nivel de actividad del proyecto o negocio, como el alquiler de oficinas o el pago de seguros. Los gastos variables son aquellos gastos que varían de acuerdo con el nivel de actividad, como los costos de materiales o los gastos de publicidad (Herrera y García, 2019).

Además, los gastos de operación pueden ser clasificados como gastos directos e indirectos. Los gastos directos son aquellos que se pueden asociar

directamente con la producción o prestación de un servicio, como el costo de los materiales. Los gastos indirectos son aquellos que no se pueden asociar directamente con la producción o prestación de un servicio, como los gastos administrativos o de ventas (Vázquez y Torres, 2017).

7.13.3. Indicadores a utilizar

Los indicadores financieros son herramientas de análisis que se utilizan para medir el rendimiento de una empresa. Estos indicadores expresan las relaciones existentes entre las cifras extraídas de los estados financieros y de otros informes contables de una empresa. Se pueden clasificar en diferentes tipos según el aspecto que se quiera evaluar: liquidez, endeudamiento, rentabilidad y gestión o eficiencia (Navarro y Molina, 2018).

La solvencia mide la habilidad de la organización para cumplir con sus obligaciones financieras en el largo plazo. (Rentafija.com, 2022). Algunos indicadores de liquidez son la ratio corriente, la ratio ácida y la ratio de tesorería.

El endeudamiento mide el grado de apalancamiento financiero que tiene la empresa, es decir, la proporción de recursos ajenos sobre recursos propios que utiliza para financiar sus inversiones (Rentafija.com, 2022). Algunos indicadores de endeudamiento son la ratio de endeudamiento total, la ratio de endeudamiento a corto plazo y la ratio de endeudamiento a largo plazo.

La capacidad de una empresa para generar beneficios en relación con la inversión realizada se conoce como rentabilidad, y es un indicador crucial de su éxito financiero (Rentafija.com, 2022). Algunos indicadores de rentabilidad son el margen neto sobre ventas, el retorno sobre activos y el retorno sobre capital.

La gestión o eficiencia mide la capacidad de la empresa de utilizar sus recursos con productividad y calidad (Rentafija.com, 2022). Algunos indicadores de gestión o eficiencia son el ciclo operativo, el ciclo financiero y el periodo medio de cobro.

7.13.4. La Tasa Interna de Oportunidad (TIO)

La Tasa Interna de Oportunidad (TIO) es un concepto financiero utilizado para evaluar la rentabilidad de una inversión, en comparación con la mejor alternativa de inversión disponible. Según Brigham y Houston (2019) “la TIO es la tasa que permite el descuento el cual hace que el valor presente neto de una inversión sea igual a cero” (p. 404).

La TIO se utiliza comúnmente en la evaluación de proyectos de inversión, donde se comparan diferentes alternativas de inversión para determinar cuál es la más rentable. Según Brigham y Houston (2019), “la TIO es una herramienta útil para comparar la rentabilidad de diferentes proyectos de inversión y determinar cuál tiene el mayor valor presente neto” (p. 509).

7.13.5. VPN (Valor Presente Neto)

Es una herramienta importante en la evaluación de proyectos de inversión es el análisis del flujo de caja descontado, el cual permite determinar la viabilidad financiera de un proyecto a largo plazo.

El método del VPN permite determinar la eficacia esperado de una inversión (Profima, 2018).

7.13.6. TIR (Tasa Interna de Retorno)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una herramienta financiera utilizada para calcular el rendimiento de una inversión a lo largo del tiempo. Según Ross, Westerfield y Jordan (2016), la TIR “es la tasa de descuento que se busca igualar el valor actual de los flujos de efectivo futuros con la inversión inicial” (p. 324).

La TIR es una métrica o herramienta que puede ser de utilidad para comparar y evaluar distintas inversiones, ya que proporciona una medida del rendimiento en términos porcentuales. Según Brigham y Ehrhardt (2017), “si la TIR de una inversión es mayor que la tasa de descuento requerida, entonces el proyecto debería aceptarse” (p. 359).

En otras palabras, si la TIR es mayor que el precio de oportunidad de la inversión, entonces la inversión es rentable.

Sin embargo, la TIR tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, puede haber múltiples TIRs para un proyecto que tenga flujos de efectivo negativos y positivos en diferentes momentos.

Según Gitman y Zutter (2014) “la regla de decisión basada en la TIR puede ser inapropiada cuando existen flujos de efectivo no convencionales” (p. 386). Por otra parte, se debe tener en cuenta que la Tasa Interna de Retorno (TIR) no considera el tamaño de los flujos monetarios en términos absolutos, lo que puede generar una asignación inadecuada de recursos tanto en proyectos en gran escala como pequeños.

7.13.7. Tasa Costo/Beneficio

La tasa costo/beneficio es una herramienta utilizada para analizar si una inversión o proyecto es rentable, ya que compara el costo de llevarlo a cabo con los beneficios que se obtendrían a largo plazo. Según Lane y Husemann (2005), “la tasa costo/beneficio es un método para determinar la eficacia de un proyecto o inversión al comparar los costos asociados con el proyecto con los beneficios obtenidos por el mismo” (p. 82).

Esta herramienta es muy utilizada en la determinación de decisiones en el ámbito gubernamental y empresarial, donde se busca maximizar los recursos y minimizar los riesgos.

Según Kaplan y Atkinson (2015), “la tasa costo/beneficio es una herramienta comúnmente utilizada para evaluar proyectos de inversión, programas gubernamentales y regulaciones que impactan en la economía y en la sociedad” (p. 124).

Para calcular la tasa costo/beneficio se deben considerar tanto los costos directos como indirectos, y los beneficios tangibles e intangibles. Según Altman (2018):

En la tasa costo/beneficio se deben considerar todos los costos asociados con el proyecto, como los costos iniciales, los costos operativos y los costos de mantenimiento, y todos los beneficios, como los ingresos generados, los ahorros de costos y los beneficios intangibles, como el impacto ambiental y social. (p. 189)

Es importante mencionar que la tasa costo/beneficio no es una herramienta perfecta, ya que los cálculos pueden variar según los supuestos y variables consideradas.

Según Mitchell (2019) “la tasa costo/beneficio puede ser influenciada por los supuestos utilizados, los cambios en el mercado y los cambios en el ambiente regulatorio, lo que puede afectar la rentabilidad del proyecto” (p. 238).

La tasa costo/beneficio se calcula mediante una fórmula, que consiste en dividir el valor actual neto de los beneficios netos entre el valor actual neto (VAN) de los costos totales (Mitchell, 2019). La fórmula se representaría de la siguiente forma: $TCB = VAN / VAC$.

7.13.8. Pay Out (Tiempo en el que se recupera la inversión)

El pay out, o plazo de recuperación de la inversión, es el período de tiempo necesario para que una empresa recupere su inversión inicial en un proyecto. Según Brigham y Ehrhardt (2017):

El pay out es una métrica importante en la evaluación de proyectos, ya que permite a los inversores determinar cuánto tiempo tardará en recuperar su inversión. Una forma común de analizar la rentabilidad del proyecto es comparar el pay out con el plazo de tiempo en que se espera que el proyecto sea rentable. (p. 334)

Sin embargo, el pay out tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, una equivocación frecuente en la elección de inversiones, es no tomar en cuenta la importancia del valor del dinero en diferentes momentos y los flujos de efectivo que se producirán en el futuro. Según Gitman y Zutter (2014) “el pay out puede

no ser una medida adecuada de la rentabilidad a largo plazo de una inversión” (p. 384).

7.13.9. Dividendos

Los dividendos son una forma en que las empresas distribuyen las ganancias a sus accionistas. Según Brigham y Ehrhardt (2017), los dividendos “son pagos en efectivo realizados por una empresa a sus accionistas” (p. 652). Los dividendos pueden ser una fuente importante de ingresos para los accionistas, ya que proporcionan un flujo de efectivo regular.

Además de los pagos en efectivo, las empresas también pueden distribuir dividendos en forma de acciones. Según Ross, Westerfield y Jordan (2016), un dividendo en acciones “se paga en forma de acciones adicionales en lugar de efectivo” (p. 720). Esto puede ser beneficioso para las empresas que desean conservar efectivo para reinvertir en el negocio, ya que les permite distribuir las ganancias a los accionistas sin incurrir en costos de efectivo.

Sin embargo, hay empresas que no distribuyen dividendos. Según Gitman y Zutter (2014) “las empresas que están en una etapa temprana de su ciclo de vida pueden retener sus ganancias para financiar el crecimiento y no pagar dividendos” (p. 584).

Las empresas también pueden decidir no pagar dividendos, si no tienen ganancias suficientes o si creen que sería mejor invertir las ganancias en el negocio.

7.13.10. Beneficio neto

En el ámbito empresarial, es frecuente el uso del término beneficio neto, para referirse a la cantidad de ingresos que una empresa obtiene tras restar todos los costos e impuestos relacionados con su actividad comercial. Una investigación realizada por la firma de contabilidad y consultoría Ernst y Young, el beneficio neto es una medida importante del rendimiento financiero de una empresa y es crucial para atraer a inversores y financiadores externos (Gitman y Zutter, 2014).

Además, el beneficio neto también se utiliza para evaluar la eficiencia de una empresa en la gestión de sus recursos y operaciones. Según un artículo publicado por Harvard Business Review, una empresa que tenga un alto beneficio neto en relación con sus ingresos puede ser considerada como una empresa eficiente en términos de costos (Jasso y Ramírez, 2017).

7.14. Estudio técnico

Para el estudio técnico se realizó la siguiente investigación de campo.

7.14.1. Sitio de ubicación

El sitio de ubicación es un aspecto crucial para considerar en la planificación y construcción de cualquier tipo de estructura, ya sea un edificio, una carretera o un parque. De acuerdo con un estudio efectuado por el Departamento de Transporte de Estados Unidos en el 2015, la localización adecuada de una edificación puede influir considerablemente en su eficiencia, seguridad y sustentabilidad.

Cabe destacar que el lugar donde se ubique el sitio puede influir en el costo y complejidad de la construcción, así como en otros factores relevantes. Por ejemplo, un sitio ubicado en una zona con terrenos irregulares o con una alta densidad de población puede ser más costoso y difícil de construir que un sitio en una zona plana y con baja densidad de población (Jasso y Ramírez, 2017).

7.14.1.1. Determinación de la radiación

La determinación de la radiación es el proceso de medir la energía, que se transmite por medio de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas desde una fuente emisora. La exposición a radiación puede provenir tanto de fuentes naturales como artificiales y su efecto en los seres vivos y el medio ambiente varía en función de su tipo y magnitud (Jasso y Ramírez, 2017).

La determinación de la radiación se puede realizar mediante diferentes métodos e instrumentos, dependiendo de la fuente y el objetivo de la medición. Por ejemplo, existen múltiples métodos para cuantificar la exposición a la radiación solar y natural en diversas situaciones. Por ejemplo, para determinar la radiación solar, que incide en una superficie terrestre, se pueden emplear sensores capaces de medir tanto la radiación directa como la difusa.

Para medir la radiación natural en el suelo, se pueden utilizar detectores portátiles como el Geiger Muller, que son capaces de detectar partículas emitidas por elementos radiactivos presentes en las rocas y minerales. En cuanto a la medición de la radiación emitida por cuerpos sólidos, existen métodos que involucran fórmulas matemáticas que relacionan la longitud de onda preferencial del cuerpo con su temperatura (González y Santibáñez, 2019).

7.15. Dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos

Es fundamental llevar a cabo un adecuado dimensionamiento en la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica, para asegurar su correcto funcionamiento y eficiencia energética.

Según González y Santibáñez (2019), “el dimensionamiento adecuado de un sistema fotovoltaico es fundamental para garantizar una producción óptima de energía eléctrica, así como para garantizar la durabilidad del sistema y la rentabilidad de la inversión” (p. 2).

El dimensionamiento de diseño de un sistema fotovoltaico involucra múltiples factores, tales como la ubicación geográfica, la carga eléctrica que se desea alimentar, la eficiencia del sistema y el soporte máximo de almacenamiento de energía.

Según Khatib, Sopian, Mahmoud y Rafeeu (2017), “el dimensionamiento adecuado de un sistema fotovoltaico requiere la evaluación cuidadosa de la demanda eléctrica del usuario final, la disponibilidad solar y la capacidad del sistema para almacenar energía” (p. 32).

Sin embargo, es destacable tener en cuenta las condiciones ambientales en la ubicación del sistema. Según Khatib, Sopian, Mahmoud y Rafeeu (2017) “el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos debe ser específico para cada ubicación, considerando la variabilidad en las condiciones climáticas y ambientales” (p. 77).

7.15.1. Dimensionamiento de los paneles solares

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos es un proceso crítico en la instalación de sistemas de energía solar.

Según Khatib, Sopian, Mahmoud y Rafeeu (2017) “el dimensionamiento adecuado de un sistema fotovoltaico es fundamental para garantizar una producción óptima de energía eléctrica, así como para garantizar la durabilidad del sistema y la rentabilidad de la inversión” (p. 2).

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico implica varios factores, como la ubicación geográfica, la carga eléctrica que se espera alimentar, la eficiencia del sistema y la capacidad de almacenamiento de energía.

Según Khatib, Sopian, Mahmoud y Rafeeu (2017) “el dimensionamiento adecuado de un sistema fotovoltaico requiere la evaluación cuidadosa de la demanda eléctrica del usuario final, la disponibilidad solar y la capacidad del sistema para almacenar energía” (p. 32).

Asimismo, es fundamental considerar las características climáticas y ambientales del entorno donde se colocará el sistema.

Según Khatib, Sopian, Mahmoud y Rafeeu (2017), “el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos debe ser específico para cada ubicación, considerando la variabilidad en las condiciones climáticas y ambientales” (p. 77).

7.15.2. Inclinación y orientación de los paneles solares

La configuración de los paneles solares es un factor esencial, para maximizar la eficiencia de una instalación de energía solar fotovoltaica. Tanto la inclinación, como la orientación de los paneles, son factores que influyen en el rendimiento del sistema. La inclinación se refiere al ángulo que forma el panel solar con la horizontal, mientras que la orientación se refiere a la dirección hacia la que apunta el panel solar (Profima, 2018).

La inclinación óptima de los paneles solares es aquella que hace que la superficie del panel esté perpendicular a la radiación solar. Sin embargo, este ángulo varía según la latitud de la ubicación de instalación y la época del año. Por lo tanto, se recomienda ajustar la inclinación de los paneles solares según las estaciones o utilizar un valor medio anual (Profima, 2018).

Para lograr una captación de radiación solar óptima y maximizar la eficiencia de una instalación solar fotovoltaica, se recomienda orientar los paneles solares hacia la dirección adecuada. En el hemisferio norte, la orientación óptima es hacia el sur, mientras que, en el hemisferio sur, se recomienda orientarlos hacia el norte. Sin embargo, también se puede variar la orientación según las necesidades energéticas y las horas de consumo (Profima, 2018).

7.15.3. Numero de paneles solares

Los módulos solares están compuestos por células fotovoltaicas, las cuales pueden absorber la radiación solar y transformarla en energía eléctrica. El número de células de un panel solar puede variar entre 36 y 144, pero las más habituales son las de 60 y 72 células. Los paneles de 72 células suelen tener

mayor potencia y tamaño que los de 60 células, por lo que se pueden necesitar menos paneles para alcanzar la misma producción (Profima, 2018).

Al calcular el número de paneles solares necesario para una instalación, es crucial tener en cuenta varios factores, entre ellos el consumo diario promedio en kWh, la radiación solar media anual en kWh/m²/día y la potencia nominal en kWp de los paneles seleccionados. La cantidad de energía eléctrica generada por un sistema solar fotovoltaico varía en función de la ubicación de la instalación y las características de los paneles utilizados. Para determinar el número de paneles necesarios, se debe dividir el consumo diario promedio entre la cantidad de energía anual generada por un solo panel solar, la cual se calcula multiplicando la radiación solar media anual por la potencia nominal del panel. (Profima, 2018).

7.15.4. Distancia entre paneles

La distancia entre paneles es un factor importante para considerar en el diseño e instalación de sistemas solares fotovoltaicos. Según un artículo publicado por la revista Renewable Energy, la distancia entre paneles puede afectar significativamente el rendimiento del sistema y, por lo tanto, debe ser cuidadosamente evaluada (Profima, 2018).

La distancia entre paneles se refiere a la separación horizontal y vertical entre los paneles solares en un arreglo. Una distancia insuficiente entre paneles puede resultar en sombras que reducen la producción de energía del sistema, mientras que una distancia excesiva puede resultar en un uso ineficiente del espacio disponible y mayores costos de instalación. Según un estudio realizado por la Universidad de California, la distancia ideal entre paneles debe ser

determinada en función de la latitud, la inclinación y la orientación del arreglo solar (Profima, 2018).

7.15.5. Estructura de soporte y anclaje

Es esencial contar con una estructura adecuada para soportar y fijar los paneles solares durante su instalación, asegurando así una correcta orientación y ubicación en el lugar seleccionado. La estructura de soporte debe adaptarse al tipo de cubierta o suelo donde se colocan los paneles, así como a la inclinación y orientación óptimas para captar la mayor radiación solar posible. Existen diferentes tipos de estructuras de soporte para cubiertas planas o inclinadas, que se fijan mediante contrapesos, zapatas o tornillos (Profima, 2018).

El anclaje es el sistema que une la estructura de soporte con la cimentación o el elemento resistente. El anclaje debe garantizar la estabilidad y firmeza de la instalación frente a las cargas y los esfuerzos que actúan sobre ella (Profima, 2018). Los anclajes pueden ser temporales o permanentes, según el tipo y la duración de la obra. Los anclajes más comunes son las placas de anclaje, que son piezas metálicas que se empotran en el hormigón y se conectan con los pilares de acero mediante pernos. Otros tipos de anclajes son los dispositivos mecánicos o químicos, que se insertan en agujeros perforados en la superficie (Profima, 2018).

7.15.6. Capacidad de la batería

La capacidad de una batería se mide en kWh o Ah y representa la energía que puede retener. Según el glosario de Rentafija.com (2022), “los kilovatios hora son a una batería lo que los litros de carburante a un depósito”. La capacidad de la batería influye en la autonomía del dispositivo que la utiliza, es decir, el tiempo

que puede funcionar sin necesidad de recargarse. Por ejemplo, IPCC. (s.f.), indica que una batería con 6 celdas puede tener una capacidad de entre 4400 mAh y 5200 mAh y un voltaje de 10.8/11.1V, lo que le permite alimentar un portátil durante varias horas. Al calcular la capacidad de una batería, es necesario considerar el consumo del dispositivo, el nivel de descarga permitido y el factor temperatura. Además, las baterías poseen una capacidad de carga determinada por la naturaleza de su composición (Rentafija.com, 2022).

7.15.7. Diseño del banco de baterías

La tarea de diseñar un sistema de almacenamiento de energía implica determinar la cantidad y disposición óptimas de las baterías para almacenar la energía eléctrica generada por una fuente de energía renovable, como un sistema solar fotovoltaico. Es importante considerar la demanda energética y las necesidades de almacenamiento de cada sistema individualmente. El banco de baterías debe ser capaz de compensar la variabilidad de la radiación solar ya que genera energía eléctrica para satisfacer la demanda del usuario.

7.15.8. Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo que se encarga de controlar la tensión e intensidad con la que se cargan las baterías en una instalación solar fotovoltaica. El regulador de carga se sitúa entre los paneles solares y la batería y evita que esta se sobrecargue o se descargue por debajo del nivel adecuado. El regulador de carga funciona de acuerdo con el estado de la batería y adapta la corriente del campo fotovoltaico para optimizar el proceso de carga (Rentafija.com, s.f.).

Figura 2.

Regulador de carga



Nota: Regulador de carga. Obtenido de FUSION (s.f.). *Regulador de carga Victron BlueSolar PWM-LCD & USB 48-20 - Fusión Energía Solar.* (<https://fusionenergiasolar.es/fotovoltaica/870-regulador-de-carga-victron-bluesolar-pwm-lcd-usb-48-20.html>), consultado el 15 de noviembre de 2022. De dominio público.

7.15.9. Cálculo para el inversor

Transforma la corriente continua (CC) generada por los paneles solares, en corriente alterna (CA), utilizable en los dispositivos eléctricos mediante un inversor. Para calcular el inversor adecuado para una instalación fotovoltaica se deben tener en cuenta varios factores: la potencia máxima que se va a consumir, el voltaje de la batería, el factor de potencia y la salida mínima de seguridad (Rentafija.com, s. f.).

7.16. Diseño del sistema fotovoltaico para un parque solar de 3 megavatios de potencia

A continuación, se describe el diseño del sistema fotovoltaico para un parque solar de 3 megavatios de potencia.

7.16.1. metodología de diseño del sistema

La metodología de diseño del sistema es un conjunto de técnicas y herramientas, utilizadas para diseñar sistemas complejos y garantizar que cumplan con los requisitos del usuario y del negocio. Según un estudio realizado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), una metodología de diseño del sistema efectiva debe ser iterativa, colaborativa y basada en modelos.

El proceso de diseño de un sistema comienza por la identificación de los requisitos del usuario y del negocio, seguido por la creación de un modelo conceptual del sistema. Luego, se crean modelos detallados del sistema que describen su estructura, comportamiento y funciones. Según un artículo publicado por la revista IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, los modelos de diseño del sistema pueden ser utilizados para probar diferentes escenarios y tomar decisiones informadas sobre la mejor manera de implementar el sistema (Al-Jubouri, Al-Majidi y Al-Jubouri, 2020).

Una vez que se han desarrollado los modelos del sistema, se realiza la implementación y se llevan a cabo pruebas para garantizar que el sistema cumpla con los requisitos del usuario y del negocio. De acuerdo con un estudio publicado en la revista International Journal of Industrial Engineering Computations, la planificación del diseño de sistemas implica evaluar su rendimiento y buscar oportunidades para mejorarlo continuamente. (Al-Jubouri, Al-Majidi y Al-Jubouri, 2020).

7.16.2. Análisis energético

El análisis energético es el proceso de evaluar el consumo y el rendimiento energético de un sistema o un edificio, con el fin de identificar posibles mejoras o

soluciones que permitan reducir el impacto ambiental y económico de la energía (Rentafija.com, s. f.).

El análisis energético se puede realizar mediante diferentes metodologías o herramientas que faciliten la recolección, el procesamiento y la interpretación de los datos energéticos. Una de estas herramientas es el análisis energético BIM (*Building Information Modeling*), que permite realizar un flujo de trabajo mejorado, interactivo y compartido entre los diferentes agentes involucrados en el diseño y la construcción de un edificio, utilizando modelos digitales tridimensionales que integran información geométrica y energética del mismo (Rentafija.com, s. f.).

7.16.3. Cantidad de paneles definitivos

La determinación de la cantidad de paneles solares necesarios para satisfacer las necesidades de energía de una vivienda o negocio, depende de factores como el consumo promedio anual de electricidad, la disponibilidad de superficie para la instalación, la orientación e inclinación de los paneles, y la cantidad de radiación solar recibida en la ubicación (Rentafija.com, s. f.).

Para calcular el número óptimo de paneles solares, se puede utilizar una fórmula que relaciona el consumo eléctrico diario con la potencia y el rendimiento de los paneles (Rentafija.com, s. f.).

Según esta fórmula, se divide el consumo eléctrico diario en kWh entre la potencia nominal del panel en kW y el factor de rendimiento del mismo.

7.16.4. Banco de baterías

Se trata de un grupo conformado por dos o más baterías que se interconectan, para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica, así como su voltaje. Los bancos de baterías se utilizan en diversas aplicaciones que requieren una fuente de corriente continua confiable y autónoma, como los sistemas fotovoltaicos, los sistemas UPS o las subestaciones eléctricas. El banco de baterías proporciona energía necesaria para el funcionamiento de los equipos, si en dado caso alguno falla o se ausencia de la red eléctrica convencional (Rentafija.com, s. f.).

Figura 3.

Banco de baterías



Nota. Banco de baterías. Mercado Libre. (s.f.). *Baterías para almacenamiento de energía fotovoltaica.* (https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-423547090-banco-de-baterias-industriales-110vdc-250vdc-dlmred-sac-_JM), consultado el 15 de noviembre de 2022. De dominio público.

7.16.5. Regulador de carga

El regulador de carga es el dispositivo que se encarga de controlar la tensión e intensidad, con la que se cargan las baterías en una instalación solar fotovoltaica. El regulador de carga se sitúa entre los paneles solares y la batería y evita que esta se sobrecargue o se descargue por debajo del nivel adecuado (Rentafija.com, s. f.). Así, el controlador de carga protege la duración de la batería y mejora la eficiencia del sistema fotovoltaico.

Existen diferentes tipos de reguladores de carga según su forma de funcionamiento y su tecnología. Los más comunes son los reguladores PWM (*Pulse Width Modulation*) y los reguladores MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Los reguladores PWM interrumpen el paso de corriente, cuando la batería está llena mediante pulsos cortos y frecuentes. Los reguladores MPPT ajustan el voltaje del panel al voltaje óptimo de la batería, mediante un convertidor electrónico. Los reguladores MPPT son más eficientes que los PWM, pero también más caros (Área Tecnología, s. f.).

7.17. Inversiones del proyecto

El proyecto contara con una inversión inicial la cual se describe a continuación.

7.17.1. Inversión Inicial

Los recursos económicos y humanos necesarios para llevar a cabo un proyecto, con la finalidad de obtener beneficios económicos en el futuro son conocidos como inversiones del proyecto (ESIC, s. f.).

Las inversiones del proyecto pueden clasificarse en tres tipos, según el momento en que se realizan: las inversiones previas a la puesta en marcha del proyecto, las inversiones durante la operación del proyecto y las inversiones de reposición o ampliación (Rentafija.com, s. f.).

7.17.2. Paneles solares y baterías

Los paneles solares son dispositivos que aprovechan la energía del sol, para generar electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La instalación de paneles solares en viviendas, negocios e industrias tiene como finalidad disminuir la demanda de energía de la red eléctrica y generar ahorros significativos en la factura de electricidad. Sin embargo, los paneles solares no siempre producen una cantidad de energía, ya que dependen de factores como la radiación solar, la orientación, la inclinación o las sombras.

Para poder sacar el máximo provecho a la energía generada por los paneles solares y tener autonomía eléctrica en todo momento, se pueden utilizar baterías para paneles solares. Las baterías para paneles solares son dispositivos que almacenan el excedente de energía producido por los paneles durante el día y lo liberan cuando se necesita, por ejemplo, durante la noche o cuando hay poca radiación solar (Rentafija.com, s. f.).

7.17.3. Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo utilizado las instalaciones solares fotovoltaicas, para controlar el voltaje que llega a las baterías desde los paneles solares. El regulador de carga evita que las baterías se sobrecarguen o se descarguen demasiado, protegiéndolas y alargando su vida útil (Rentafija.com, s. f.).

El regulador de carga se sitúa entre los paneles solares y las baterías y funciona según el estado de la carga de estas últimas. Cuando la batería está descargada, el regulador permite que toda la corriente generada por los paneles fluya hacia ella para llenarla rápidamente. Cuando la batería está casi llena, el regulador reduce la corriente para evitar que se sobrepase el voltaje máximo. Cuando la batería está completamente llena, el regulador corta la corriente para evitar que se dañe (Rentafija.com, s. f.).

7.17.4. Inversor

El dispositivo conocido como inversor es crucial en la conversión de la energía generada por los paneles solares, de corriente continua a corriente alterna, de manera que se pueda emplear en los hogares y empresas.

Según Pérez (2016) “el inversor es el cerebro del sistema fotovoltaico, ya que es responsable de la eficiencia y rendimiento del sistema” (p. 72).

Los inversores pueden ser de diferentes tipos, como los inversores de onda sinusoidal pura, los inversores de onda modificada y los microinversores.

Según Pérez (2016) “los inversores de onda sinusoidal pura son los más eficientes y confiables, ya que generan una corriente alterna de alta calidad que es compatible” (p. 129).

7.17.5. Instalación y otros

De acuerdo con un estudio publicado por Russel, Anderson, Trejo y Hanna (2002) los gastos asociados a la instalación de un sistema de energía renovable pueden abarcar diversos aspectos, tales como la adecuación del terreno, la

construcción de bases y la colocación de maquinaria. Estos costos pueden ser significativos y deben ser cuidadosamente planificados y presupuestados para evitar retrasos y sobrecostos en la ejecución del proyecto.

Las instalaciones industriales, son aquellas que contienen los medios necesarios para realizar una actividad productiva (Profima, 2018). Por ejemplo, una fábrica de automóviles tiene instalaciones industriales como maquinaria, herramientas o sistemas de seguridad.

7.17.6. Precio unitario de la inversión inicial

El precio unitario inicial es un factor importante para considerar en la planificación y diseño de proyectos de inversión. De acuerdo con un artículo publicado en el International Journal of Engineering Research y Technology, el costo individual de cada bien o servicio necesario para iniciar una inversión se denomina precio unitario de la inversión inicial (Profima, 2018).

7.17.7. Ingresos

Para determinar los ingresos de la energía en el mercado SPOT se realiza una breve descripción de lo que esta es.

7.17.7.1. Precio de la energía en el mercado SPOT

El mercado SPOT es el mercado mayorista de electricidad donde se negocia la electricidad que se va a consumir al día siguiente. El precio SPOT, es el precio que se determina en este mercado según la promoción y la demanda de electricidad en cada hora y zona geográfica. El precio SPOT refleja el costo

marginal de suministrar un kilovatio hora (kWh) adicional al sistema eléctrico (Profima, 2018).

El precio SPOT es una señal importante para los agentes del mercado eléctrico, ya que indica las condiciones de adaptación entre oferta y demanda, así como las oportunidades de inversión o ahorro (Rentafija.com, 2022). El precio SPOT también influye en la componente de generación de la tarifa eléctrica que pagan los consumidores finales.

7.17.7.2. Evaluación de la inversión

La evaluación de inversiones es el proceso que permite analizar si una inversión es rentable o no y en qué medida. La evaluación de inversiones también sirve para establecer un orden de prioridad entre distintas alternativas de inversión y para apoyar la elaboración de un caso de negocio (Rentafija.com, 2022).

De acuerdo con un artículo publicado por Andrei, Friedman y Ozel (2023), el Valor Presente Neto (VPN), es una herramienta utilizada con frecuencia para evaluar la viabilidad financiera de una inversión, ya que representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto y el costo de la inversión inicial. Si el VPN es positivo, el proyecto se considera rentable y puede ser una buena inversión. Por otro lado, si el VPN es negativo, el proyecto no es rentable y debe ser descartado (Rentafija.com, 2022).

7.17.7.3. Indicadores

En el ámbito financiero, los indicadores son herramientas utilizadas para medir el rendimiento y la rentabilidad de una empresa o proyecto. En el ámbito

de los proyectos de fuentes de energía sostenibles, se emplean distintos índices para examinar su factibilidad y lucratividad financiera.

Los proyectos de energías renovables se evalúan utilizando diferentes indicadores financieros para determinar su viabilidad y rentabilidad. Entre estos indicadores se encuentran la tasa interna de retorno (TIR), la tasa interna de oportunidad (TIO), el valor actual neto (VAN) y el tiempo de recuperación de la inversión (payback).

Según Pandey y Singh (2018) “los indicadores financieros son herramientas útiles para tomar decisiones en los proyectos de energías renovables, ya que permiten comparar diferentes alternativas y determinar su rentabilidad económica” (p. 153).

7.17.8. Egresos

En un proyecto de inversión, los egresos se refieren a los costos que se deben pagar, durante el proceso de ejecución y operación del proyecto. Según la revista Harvard Business Review, los egresos pueden ser de dos tipos: gastos de capital y gastos operativos (Pandey y Singh, 2018).

Los gastos de capital son los costos necesarios para adquirir los activos físicos necesarios para el proyecto, como terrenos, edificios, maquinarias, entre otros. Estos gastos suelen ser de gran magnitud y se pagan en una sola ocasión. En cambio, los gastos operativos son los costos recurrentes que se deben pagar para mantener el proyecto en funcionamiento, como salarios, materiales, suministros, entre otros.

7.17.8.1. Operarios

En el contexto empresarial, los operarios son aquellos trabajadores que realizan tareas operativas dentro de una empresa, es decir, tareas relacionadas con la producción o manufactura de un producto o servicio.

Según Pandey y Singh (2018) “los operarios son el eslabón fundamental de la cadena productiva de una empresa, ya que su trabajo es esencial para la fabricación de los productos o la prestación de los servicios que la empresa ofrece” (p. 87).

Los operarios suelen trabajar en fábricas, plantas de producción, talleres mecánicos, entre otros, y su labor puede variar desde la operación de maquinaria hasta la realización de tareas manuales y repetitivas.

Según Pandey y Singh (2018), “los operarios son responsables de mantener la eficiencia y productividad en la cadena de producción, por lo que es importante que cuenten con la capacitación y herramientas necesarias para realizar su trabajo de manera efectiva” (p. 234).

7.17.8.2. Mantenimientos

El mantenimiento es un aspecto fundamental en cualquier sistema de energía solar, para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil.

Según Pandey y Singh (2018), “el mantenimiento adecuado es esencial para garantizar la eficiencia y la disponibilidad del sistema de energía solar” (p. 380).

Existen diferentes tipos de mantenimiento que se pueden llevar a cabo como el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

Según Pandey y Singh (2018) “el mantenimiento preventivo se realiza de forma periódica para evitar fallos y asegurar el rendimiento del sistema, mientras que el mantenimiento predictivo se utiliza para predecir fallos y planificar el mantenimiento adecuado” (p. 64).

Además, el mantenimiento debe incluir inspecciones regulares de los componentes del sistema, como los paneles solares, inversores, baterías y cables, para detectar posibles problemas y solucionarlos de manera oportuna.

Según Pandey y Singh (2018) “la inspección regular de los componentes del sistema es importante para detectar y solucionar los problemas del sistema de manera oportuna y garantizar su eficiencia” (p. 92).

También es importante considerar el impacto ambiental del mantenimiento, utilizando prácticas sostenibles y evitando el uso de productos químicos nocivos para el medio ambiente.

Según Pandey y Singh (2018) “es importante utilizar prácticas sostenibles en el mantenimiento del sistema de energía solar para minimizar su impacto ambiental” (p. 285).

7.17.9. Tiempo en obtener beneficio del proyecto vendiendo la Energía al mercado a termino

El tiempo en obtener beneficio del proyecto vendiendo la Energía al mercado a término dependerá de varios factores, como el costo de inversión, el

precio de venta de la energía, la demanda del mercado y la prioridad de despacho. Es posible realizar un cálculo del tiempo de recuperación de la inversión mediante el análisis de costo-beneficio (ACB), que se encarga de comparar los gastos e ingresos relacionados con el proyecto para determinar si es viable o no (Pérez, 2016).

Un ejemplo de ACB para un proyecto de energía renovable que vende al mercado a término sería el siguiente: se calcula el costo total del proyecto, incluyendo los gastos de instalación, operación y mantenimiento; se estima el ingreso anual por la venta de energía al precio establecido en el contrato; se divide el costo total entre el ingreso anual para obtener el número de años que se tarda en recuperar la inversión; y se compara este resultado con el plazo del contrato y con otros indicadores financieros (Pérez, 2016).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Demanda energética en el ámbito internacional

2.1.1. Demanda Energética en Guatemala

2.2. Problemas ambientales

2.2.1. Principales causas a nivel global

2.2.2. Principales causas ambientales de Guatemala

2.2.3. Efecto invernadero

2.2.4. Efecto de los contaminantes sobre la salud

2.2.5. Efectos en los ecosistemas

2.3. Energía proveniente del Sol

2.4. Energía fotovoltaica

2.4.1. Radiación Solar

2.4.2. Irradiancia e irradiación sobre superficies

- 2.4.3. La Radiación Solar en Guatemala
- 2.5. Efecto solar fotovoltaico
 - 2.5.1. Célula fotovoltaica
 - 2.5.2. Composición de la celda fotovoltaica
 - 2.5.3. Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas
 - 2.5.4. Eficiencia de una celda fotovoltaica
 - 2.5.5. Tipos de la célula fotovoltaica
- 2.6. Sistemas fotovoltaicos
 - 2.6.1. Sistemas off grid
 - 2.6.2. Sistemas *on grid*
 - 2.6.3. Sistemas híbridos
 - 2.6.4. Aplicaciones del sistema fotovoltaico
- 2.7. Elementos del sistema fotovoltaico
 - 2.7.1. Generador fotovoltaico
 - 2.7.2. Baterías
 - 2.7.3. Regulador de carga
 - 2.7.4. Inversor
- 2.8. Mercado Eléctrico de Guatemala
 - 2.8.1. Ley General de electricidad en Guatemala
 - 2.8.2. Ministerio de Energía y Minas
 - 2.8.3. Inscripción de un GDR en el ministerio
 - 2.8.4. Comisión Nacional de Energía eléctrica
 - 2.8.5. Normas técnicas para un GDR
- 2.9. Administrador del mercado Mayorista
 - 2.9.1. Normas Coordinación Operativas
 - 2.9.2. Normas Coordinación Comercial
- 2.10. Habilitación de un GDR en Guatemala
- 2.11. Mercado Spot
- 2.12. Contratos de energía

- 2.13. Estudio financiero
 - 2.13.1. Evaluación de proyectos de inversión
 - 2.13.2. Criterios de evaluación de proyectos
 - 2.13.2.1. Ingresos del proyecto
 - 2.13.2.2. Inversión en el proyecto
 - 2.13.2.3. Gastos de operación
 - 2.13.3. Indicadores a utilizar
 - 2.13.4. La Tasa Interna de Oportunidad (TIO)
 - 2.13.5. VPN (Valor Presente Neto)
 - 2.13.6. TIR (Tasa Interna de Retorno)
 - 2.13.7. Tasa Costo/Beneficio
 - 2.13.8. *Pay Out* (Tiempo en el que se recupera la inversión)
 - 2.13.9. Dividendos
 - 2.13.10. Beneficio neto
- 2.14. Estudio técnico
 - 2.14.1. Sitio de ubicación
 - 2.14.1.1. Determinación de la radiación
- 2.15. Dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos
 - 2.15.1. Dimensionamiento de los paneles solares
 - 2.15.2. Inclinación y orientación de los paneles solares
 - 2.15.3. Numero de paneles solares
 - 2.15.4. Distancia entre paneles
 - 2.15.5. Estructura de soporte y anclaje
 - 2.15.6. Capacidad de la batería
 - 2.15.7. Diseño del banco de baterías
 - 2.15.8. Regulador de carga
 - 2.15.9. Calculo para el inversor

- 2.16. Diseño del sistema fotovoltaico para un parque solar de 3 megavatios de potencia
 - 2.16.1. metodología de diseño del sistema
 - 2.16.2. Análisis energético
 - 2.16.3. Cantidad de paneles definitivos
 - 2.16.4. Banco de baterías
 - 2.16.5. Regulador de carga
- 2.17. Inversiones del proyecto
 - 2.17.1. Inversión Inicial
 - 2.17.2. Paneles solares y baterías
 - 2.17.3. Regulador de carga
 - 2.17.4. Inversor
 - 2.17.5. Instalación y otros
 - 2.17.6. Precio unitario de la inversión inicial
 - 2.17.7. Ingresos
 - 2.17.7.1. Precio de la energía en el mercado SPOT
 - 2.17.7.2. Evaluación de la inversión
 - 2.17.7.3. Indicadores
 - 2.17.8. Egresos
 - 2.17.8.1. Operarios
 - 2.17.8.2. Mantenimientos
 - 2.17.9. Tiempo en obtener beneficio del proyecto vendiendo la Energía al mercado a término

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS
APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

A continuación, se expone el plan que se debe seguir para llevar a cabo este trabajo, que abarca desde la fase inicial de investigación hasta la etapa de desarrollo de este:

9.1. Características del estudio

Considerando que la investigación esta enfocada en la implementación de proyectos de GDR a través de paneles solares en el mercado mayorista, se detalla a continuación las siguientes características:

9.1.1. Enfoque

El enfoque del trabajo de investigación será principalmente cuantitativo, ya que se busca medir y analizar datos numéricos relacionados con la factibilidad técnica y financiera de un proyecto de GDR fotovoltaico en el mercado mayorista de Guatemala.

Para lograr este objetivo, se utilizará una metodología mixta que combina la recolección de datos primarios y secundarios. La recolección de datos primarios se llevará a cabo mediante encuestas a expertos en el campo de la energía solar y entrevistas a representantes del AMM y la CNEE. La recolección de datos secundarios se realizará mediante la revisión de estudios previos relacionados con proyectos similares, así como información disponible en fuentes públicas.

Además, se utilizarán herramientas estadísticas para analizar los datos recopilados y determinar la factibilidad técnica y financiera del proyecto. Se realizarán análisis financieros detallados para evaluar los costos e ingresos asociados al proyecto, así como análisis técnicos para determinar la capacidad del sistema fotovoltaico para generar energía eléctrica.

9.1.2. Alcance

El tipo de alcance del estudio será específico, ya que se enfoca en un tema particular y tiene objetivos claros y definidos. El objetivo principal del estudio es determinar la factibilidad técnica y financiera de un proyecto de GDR fotovoltaico como agente en el mercado mayorista de Guatemala.

Además, el estudio tiene objetivos específicos que incluyen determinar los factores técnicos operativos y regulatorios para la implementación de una GDR fotovoltaica en el mercado eléctrico de Guatemala, determinar cuáles son los costos de operación en una GDR fotovoltaica y evaluar la factibilidad financiera del proyecto.

9.1.3. Diseño

El diseño del estudio será una investigación exploratoria y descriptiva, que tiene como objetivo determinar la factibilidad técnica y financiera de un proyecto de GDR fotovoltaico en el mercado mayorista de Guatemala.

Para lograr este objetivo, se utilizará una metodología mixta que combina la recolección de datos primarios y secundarios. La recolección de datos primarios se llevará a cabo mediante encuestas a expertos en el campo de la energía solar y entrevistas a representantes del AMM y la CNEE. La recolección

de datos secundarios se realizará mediante la revisión de estudios previos relacionados con proyectos similares, así como información disponible en fuentes públicas.

9.2. Unidad de análisis

El estudio se centra en determinar la factibilidad técnica y financiera de este proyecto específico, y se utilizarán diferentes metodologías y herramientas para recopilar y analizar datos relacionados con los aspectos técnicos y financieros del proyecto.

9.3. Variables

En la tabla 1 se describen las variables involucradas en el desarrollo del proyecto.

Tabla 1.

Tabla de variables

Objetivo	Variable	Tipo de Variable	Indicadores	Técnica	Plan de tabulación
Determinar la factibilidad financiera del beneficio/costo para el agente GDR en proyectos de Generación de energía eléctrica a través de tecnologías fotovoltaicas.	Cumplimiento de normas técnicas para la instalación de un GDR fotovoltaico.	Cualitativas nominales. Cualitativas ordinales.	Cumplimiento de normas ante las entidades correspondientes .	Análisis y registro de la aplicación correcta de normas.	Se realizará a través de una tabla donde se vea el cumplimiento correspondiente.
	Tiempo de ejecución del proyecto. Costos de operación del proyecto.	Cuantitativa de razón continua. Cuantitativa de razón continua.	Tiempo estimado de ejecución. Costos de mano de obra, equipos y materiales.	Medición de avance en el proyecto, cumpliendo objetivos. Registro de costos de operación.	Se realizará un cronograma donde se vea el avance del proyecto según tiempo establecido. Se llevará un registro de costos de operación a través de una matriz de análisis.
	Tiempo de recuperación de inversión del proyecto.		Costo de Q/kwh de energía generada.	Registro de generación de kwh.	Se utilizará un programa de medición eléctrica para controlar cuantos kwh se generan al día.

Continuación de la tabla 1.

Analizar los costos y beneficios financieros de la implementación de un GDR de energía solar en el mercado mayorista de Guatemala.	Costos y beneficios financieros	Cuantitativa	Costos de inversión Costos de operación y mantenimiento. Ingresos por venta de energía.	Análisis financiero y proyecciones.	Tablas de análisis financiero y gráficos de proyecciones.
Realizar una revisión exhaustiva de la literatura y fuentes relevantes para recopilar información técnica y financiera sobre la implementación de un GDR de energía solar en el mercado mayorista guatemalteco.	Información técnica y financiera	Cualitativa	Fuentes de información. Técnicas de implementación. Modelos de negocio.	Revisión bibliográfica y análisis de contenido.	Tablas de frecuencia y análisis de contenido.
Estimar la demanda potencial de energía solar en el mercado mayorista de Guatemala mediante la aplicación de encuestas y análisis estadísticos.	Demanda potencial de energía solar	Cuantitativa	Número de empresas interesadas. Volumen de energía requerido. Factores de influencia.	Encuestas y análisis estadísticos.	Tablas de frecuencia y gráficos de análisis estadísticos.

Nota: Tabla de variables. Elaboración propia, realizado con Excel 365.

9.4. Fases del estudio

El proceso para cumplir con los objetivos del diseño de investigación se llevará de la siguiente manera:

9.4.1. Fase 1: revisión de literatura

Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre energía solar, sistemas fotovoltaicos, mercado mayorista de energía eléctrica en Guatemala, normas y regulaciones aplicables a la implementación del proyecto,

así como los aspectos técnicos y financieros que deben considerarse en el análisis de factibilidad.

9.4.2. Fase 2: recopilación de datos

Se recopilarán datos primarios y secundarios relacionados con el proyecto de GDR fotovoltaico como agente en el mercado mayorista de Guatemala. Los datos primarios se obtendrán a través de encuestas a expertos en el campo de la energía solar y entrevistas a representantes del AMM y la CNEE. Los datos secundarios se obtendrán a través de fuentes documentales.

9.4.3. Fase 3: análisis técnico

Se analizarán los factores técnicos operativos para la implementación del proyecto, incluyendo la evaluación del potencial solar en Guatemala, los tipos de sistemas fotovoltaicos disponibles, los requisitos técnicos para la instalación y operación del sistema fotovoltaico.

9.4.4. Fase 4: análisis financiero

Se llevará a cabo un análisis financiero para determinar la factibilidad financiera del proyecto. Esto incluirá el cálculo de los costos totales del proyecto, los ingresos esperados por la venta de energía eléctrica al mercado mayorista y el cálculo del beneficio/costo del proyecto.

9.4.5. Fase 5: evaluación de factibilidad

Se evaluará la factibilidad técnica y financiera del proyecto de GDR fotovoltaico como agente en el mercado mayorista de Guatemala. Se determinará

si el proyecto es viable y se presentarán recomendaciones para su implementación.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN

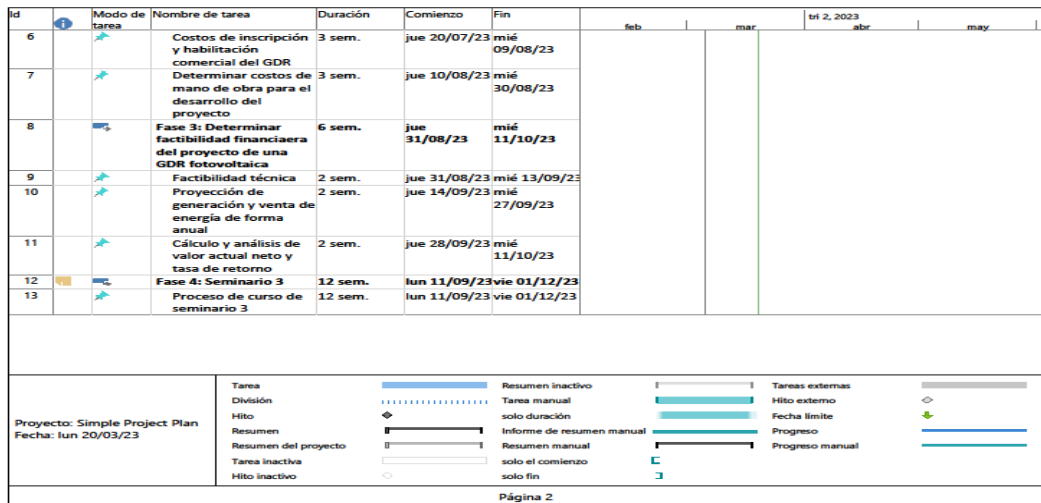
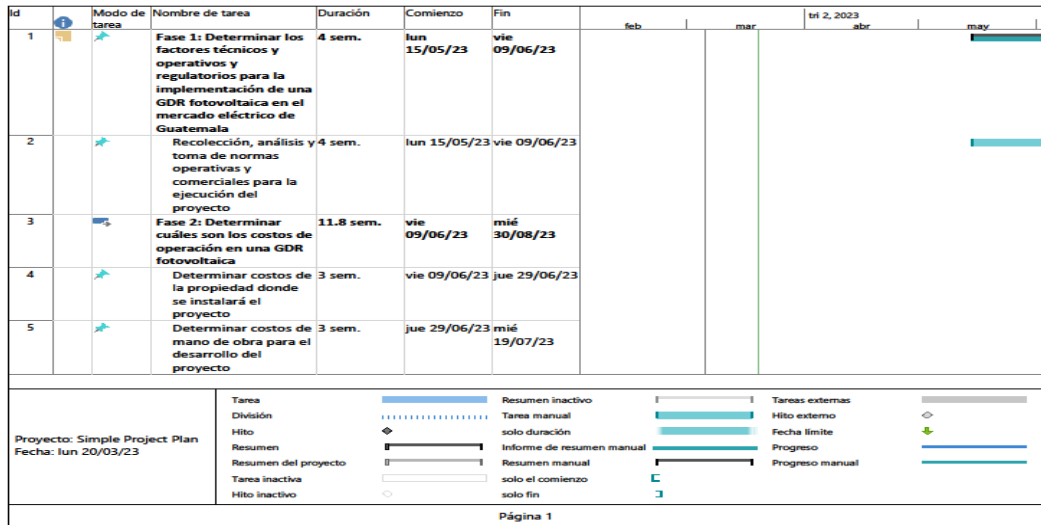
El estudio podría utilizar una combinación de técnicas financieras, técnicas de análisis ambientales y sociales y análisis regulatorios para evaluar la factibilidad técnica y financiera en la implementación de un GDR fotovoltaica como agente en el mercado mayorista de Guatemala.

- **Análisis financiero:** se realiza un análisis detallado de los costos asociados con la construcción, operación y mantenimiento del GDR de energía solar, así como los ingresos esperados por la venta de energía en el mercado mayorista. También se evalúa la rentabilidad del proyecto y se identifican posibles fuentes de financiamiento.
- **Análisis técnico:** se realiza una evaluación técnica del proyecto, incluyendo el diseño del sistema fotovoltaico, la selección de los equipos necesarios y la evaluación del potencial solar en la región.
- **Análisis ambiental y social:** se evalúan los posibles impactos ambientales y sociales del proyecto, así como las medidas que se pueden tomar para mitigar estos impactos.
- **Análisis regulatorio:** se analizan las normas y regulaciones aplicables al proyecto, incluyendo las normas del AMM y las normas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

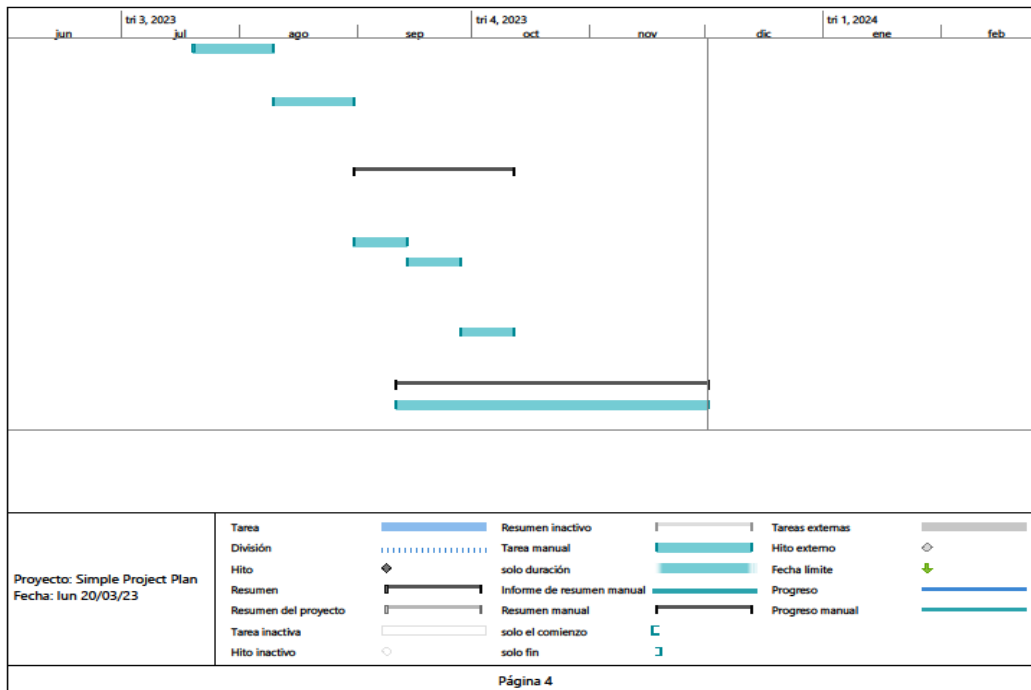
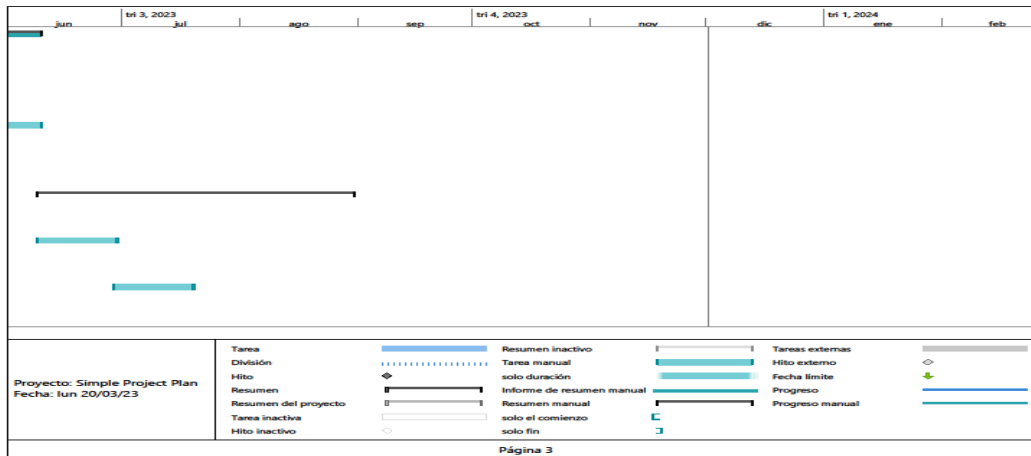
11. CRONOGRAMA

Figura 4.

Diagrama de actividades



Continuación de la figura 4.



Nota: Tiempos propuestos para el desarrollo del proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio 2019.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La tabla que sigue proporcionará una estimación presupuestaria general para llevar a cabo este estudio:

Tabla 2.

Presupuesto

No.	Recurso	Descripción	Costo Unitario	Costo total
1	Humano	Asesor de trabajo de investigación	Q4500	Q4500
2	Recursos materiales	papelería y útiles	Q500	Q500
3	Recursos físicos	Gasolina	Q1500	Q1500
4	Recursos tecnológicos	Computadora	Q6500	Q6500
5	Otros	Caja chica	Q1000	Q1000
			Total Presupuestado	Q14000

Nota: Presupuesto necesario para el desarrollo del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel 365.

13. REFERENCIAS

Agencia Internacional de Energía. (1 de diciembre de 2021). Renewables 2021. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>

Al-Jubouri, A., Al-Majidi, M. y Al-Jubouri, S. (marzo, 2020). Fundamentals of photovoltaic cells. *In Handbook of Clean Energy Systems*, 6(3), 1-23.

Altman, E. (2018). *Corporate Financial Analysis in a Global Environment*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Andrei, D., Friedman, H. y Ozel, N. (enero de 2023). Economic uncertainty and investor attention. *Journal of Financial Economics*, 149(2), 179-217.

Avelar-Sosa, L. y González-Rodríguez, M. (2020). Propuesta de gestión basada en normas de coordinación operativas para el desempeño de las organizaciones. *Revista Internacional de Administración, Finanzas y Economía (RIAFE)*, 12(2), 99-114.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *Informe de situación de la energía en Centroamérica*. Washington D.C., EE. UU.: Autor.

Bihar, S., Kumar, S. y Kumar, V. BIH-1753. List of Selected candidates for award of fellowship for the year 2015-16 under the scheme of Rajiv Gandhi National Fellowship for SC Candidate during financial year 2015-16.

Brigham, E. y Houston, J. (2019). *Fundamentos de administración financiera*. México: Cengage Learning.

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2020). *Informe Anual 2020*. Guatemala: Autor.

Decreto 93-2000. Ley de aviación civil. Congreso de la República de Guatemala. 18 de diciembre de 2000.

EPA. (2022). Descripción general de los gases de efecto invernadero. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>.

FAO. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma: Autor. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>.

FAO. (s.f.). Agricultura y medio ambiente. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/es/>

Farangi, M., Asl, E., Zahedifar, M., Amiri, O. y Poursafar, J. (mayo, 2020). The environmental and economic analysis of grid-connected photovoltaic power systems with silicon solar panels, in accord with the new energy policy in Iran. *Energy (Oxf)*. 1(202), 117771. doi: 10.1016/j.energy.2020.117771. Epub 2020 May 3. PMID: 32367905; PMCID: PMC7196319.

García, M. y González, F. (octubre, 2019). Análisis Costo-Beneficio en la Evaluación de Proyectos de Inversión. *Revista Científica de*

Administración, Economía y Negocios, 4(7), 27-38.
<https://doi.org/10.31876/RCI.2019.47.03>

Gitman, L. y Zutter, C. (2018). *Principios de administración financiera*. México: Pearson.

González, M. y Santibáñez, J. (noviembre, 2019). Ingresos del proyecto y análisis de sensibilidad en la evaluación de la viabilidad de proyectos de inversión. *Revista de Investigación en Ciencias Administrativas*, 11(21), 58-67.

Green, M., Ho-Baillie, A. y Snaith, H. (julio, 2014). The emergence of perovskite solar cells. *Nature Photonics*, 12(4), 201-203.

Herrera, A. y García, J. (mayo, 2019). Gastos de operación: gastos fijos y variables. *Revista de Investigación en Administración y Economía*, 16(32), 56-67.

IPCC. (s.f.). Cambio climático 2021: Informe de los Grupos de Trabajo I, II y III del IPCC. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Jasso, J. y Ramírez, M. (septiembre, 2017). Fijación de precios para la maximización de los ingresos del proyecto. *Revista de Administración de Empresas*, 25(1), 32-43.

Kalogirou, G. (2019). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos: Academic Press.

Kaplan, R. y Atkinson, A. (2015). *Advanced management accounting*. Reino Unido: PHI Learning.

Kazmerski, L. (marzo, 2016). Advances in photovoltaics: Part 1. *Journal of Photonics for Energy*, 6(2), 020101.

Khatib, T., Sopian, K., Mahmoud, M., y Rafeeu, Y. (agosto, 2017). Optimum design and sizing of stand-alone PV system for remote residential housing in Malaysia. *Journal of Energy and Power Engineering*, 11(1), 32-40.

Lane, K., y Husemann, R. (2005). *Engineering management: Challenges in the new millennium*. Reino Unido: Prentice Hall.

Lima, M., Ramírez, L., Carvalho, P., Batista, J. y Freitas, D. (febrero, 2022). A Comparison Between Deep Learning and Support Vector Regression Techniques Applied to Solar Forecast in Spain. *J. Sol. Energy Eng.* 144(1), 010802. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4051949>.

Luque, A. y Hegedus, S. (2019). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Gales: Soteris Kologirou.

Meza, A. (2020). *Informe del Estado del Ambiente 2020*. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía. Recuperado de <https://minae.go.cr/documentos/informes/INFORME-FINAL-DE-GESTIN-MINISTRA-MINAE-v3.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Energía solar en Guatemala*. Guatemala: Autor.

- Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Plan Nacional de Energía 2018-2032*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/15.-Plan-Nacional-de-Energia-2018-2032.pdf>.
- Mitchell, J. (2019). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*. Estados Unidos: Edward Elgar Publishing.
- Narayanan, V. y Noll, R. (23 de marzo de 2022). School of EECS professors receive 2021 IEEE Computer Society research awards. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://news.engr.psu.edu/2022/narayanan-vijay-ghosh-swaroop-win-2021-ieee-cs.aspx>.
- NASA. (19 de enero de 2013). Variabilidad solar y clima terrestre. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/08jan_sunclimate.
- Navarro, M. y Molina, J. (mayo, 2018). Evaluación de Proyectos de Inversión. *Revista de Ciencias Económicas*, 36(2), 215-229. <https://doi.org/10.15517/rce.v36i2.31696>
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de desarrollo sostenible. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>.
- Pandey, A. y Singh, B. (marzo, 2018). Mantenimiento preventivo y predictivo en sistemas de energía solar. *Revista de Energía Renovable*, 12(2), 62-70.

- Paredes, S., García, R. y Martínez, M. (marzo, 2018). Análisis de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica para Viviendas Rurales. *Revista I+D Tecnológico*, 14(2), 193-204.
- Perera, F., Vishnevetsky, J., Herbstman, J., Calafat, A., Xiong, W., Rauh, V. y Wang, S. (agosto, 2012). Prenatal Bisphenol A Exposure and Child Behavior in an Inner-City Cohort. *Environ Health Perspect.* 120(8). 1190–1194.
- Pérez, A. y Londoño, L. (2020). Análisis de Sensibilidad y Simulación en la Evaluación de Proyectos de Inversión. *Estudios Gerenciales*, 36(157), 140-147.
- Pérez, J. (2016). *Energía solar fotovoltaica: Manual práctico*. Colombia: Editorial Reverté.
- Pérez, J. y López, R. (marzo, 2018). Ingresos ordinarios y extraordinarios en la evaluación de proyectos de inversión. *Revista de Economía y Finanzas*, 15(28), 89-97.
- Prishchepa, O. y Proskuryakova, L. (enero, 2020). Long-term and short-term contracts in electricity markets: evidence from Russia. *Heliyon*, 6(8), e04756. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04756
- Profima. (12 de marzo de 2018). Evaluación Financiera de Proyectos. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.profima.co/blog/finanzas-corporativas/39-evaluacion-financiera-de-proyectos>.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). *Perspectivas del medio ambiente mundial 2021*. Nairobi, Kenia: UN Environment
- Rentafija.com (2 de mayo de 2022). Indicadores Financieros. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.rentafija.com/academia/indicadores-financieros>.
- Rojas, M. y Ramos, L. (febrero, 2018). Gastos de operación: definición y clasificación. *Revista de Investigación en Economía y Finanzas*, 15(29), 110-118.
- Ross, S., Westerfield, R. Y Jordan, B. (2016). *Fundamentals of corporate finance*. Estados Unidos: McGraw-Hill Education.
- Russel, J., Anderson, S., Trejo, D. y Hanna, A. (2002). *Construction Engineering and Management Research Program*. Washington, D.C.: Project D10-58, Transportation Research Board, National Research Council.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Estrategia local de acción climática 2021-2050*. México: Autor.
- Tarascon, J. y Armand, M. (enero, 2001). Issues and Challenges Facing Rechargeable Lithium Batteries. *Nature*, 414(6861), 359-367. DOI: 10.1038/35104644.
- Vázquez, J. y Torres, R. (septiembre, 2017). Gastos de operación: gastos directos e indirectos. *Revista de Investigación en Administración y Contabilidad*, 4(8), 25-34.

Zhang, Y. (2020). Environmental Effects on the Efficiency of Photovoltaic Cells: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109507. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109507.

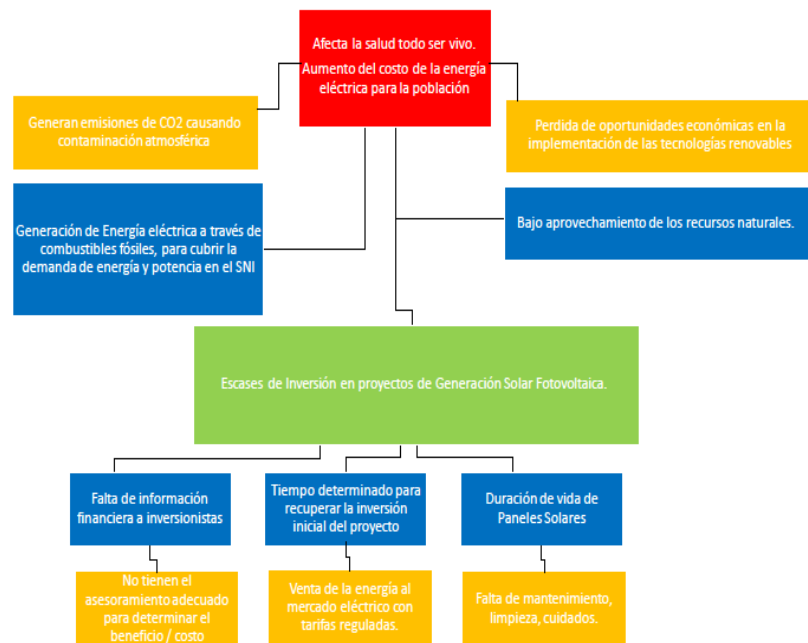
14. APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol de problemas

Línea de investigación:

-Ingeniería de proyectos.
-Evaluación financiera de proyectos.



Nota: Árbol de problemas. Elaboración propia, realizado con Visio 2019.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

Preguntas de investigación	Objetivo	Variable	Tipo de Variable	Indicadores	Técnica	Plan de tabulación
¿Cómo determinar la factibilidad financiera que tiene la inversión en un proyecto de GDR fotovoltaico?	Determinar la factibilidad financiera del beneficio/costo para al agente GDR en proyectos de Generación de energía eléctrica a través de tecnologías fotovoltaicas.	Cumplimiento de normas técnicas para la instalación de un GDR fotovoltaico. Tiempo de ejecución del proyecto. Costos de operación del proyecto. Tiempo de recuperación de inversión del proyecto.	Cualitativas nominales. Cualitativas ordinales. Cuantitativa de razón continua. Cuantitativa de razón continua.	Cumplimiento de normas ante las entidades correspondientes. Tiempo estimado de ejecución. Costos de mano de obra, equipos y materiales. Costo de Q/kwh de energía generada.	Análisis y registro de la aplicación correcta de normas. Medición de avance en el proyecto, cumpliendo objetivos. Registro de costos de operación. Registro de generación de kwh.	Se realizará a través de una tabla donde se vea el cumplimiento correspondiente. Se realizará un cronograma donde se vea el avance del proyecto según tiempo establecido. Se llevará un registro de costos de operación a través de una matriz de análisis. Se utilizará un programa de medición eléctrica para controlar cuantos kwh se generan al día.
¿Cuáles son los requisitos técnicos para la instalación y operación de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se pueden cumplir?	Determinar los factores técnicos operativos y regulatorios para la implementación de una Fotovoltaica en el Mercado Eléctrico de Guatemala.	Determinar que normas se utilizaran para la ejecución y venta de energía de un GDR fotovoltaico.	Cualitativas nominales.	Cumplimiento de las normas técnicas correspondientes verificadas ante las entidades correspondientes.	Análisis y seguimiento del proceso de inscripción.	Tabla de control donde existirá una retroalimentación por parte de los asesores de las entidades que aprueban este tipo de proyectos.
¿Cuáles son los costos asociados con la construcción, operación y mantenimiento de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se comparan con los costos de otras fuentes de energía?	Determinar cuáles son los costos de operación en una GDR fotovoltaica.	Costos de operación del proyecto, mano de obra, materiales y equipos.	Cuantitativa de razón continua.	Costo de inversión total del proyecto.	Registro de costos totales.	Se realizará un cuando donde se registren el control de los costos totales.
¿Cuáles son los riesgos técnicos, financieros, ambientales y sociales asociados con la implementación de un GDR de energía solar en Guatemala y cómo se pueden abordar?	Determinar la factibilidad financiera del proyecto de una GDR fotovoltaica.	VAN, TIR	Cuantitativa de razón continua.	Rentabilidad de inversión.	Formula VAN y TIR	Registro de y proyección de recuperación de inversión del proyecto.

Nota: Matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado con Excel 365.