



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA ESCUELA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES EN GUATEMALA**

José Marcos Castellanos Barrios

Asesorado por la MA. Ing. Edinson Hernández Barillas

Guatemala, julio de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA ESCUELA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ MARCOS CASTELLANOS BARRIOS
ASESORADO POR EL MA. ING. EDINSON HERNÁNDEZ BARILLAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO A.I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Sergio Leonel Gómez Bravo
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 ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA ESCUELA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 21 de abril de 2023.



José Marcos Castellanos Barrios



EEPFI-PP-0378-2023

Guatemala, 21 de abril de 2023

Director:
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA ESCUELA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES EN GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos**, presentado por el estudiante **Jose Marcos Castellanos Barrios** carné número **201603108**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

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

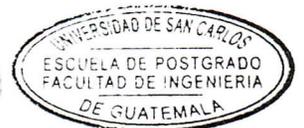
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Edinson Hernández Barillas
Asesor(a)



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



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





EEP-EIME-0377-2023

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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA ESCUELA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Jose Marcos Castellanos Barrios**, 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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.29.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA ESCUELA DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALES EN GUATEMALA**, presentado por: **José Marcos Castellanos Barrios** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 11/07/2023 18:28:55
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, julio de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 29 CUI: 3018523400101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la guía y sabiduría para alcanzar mis metas.
- Mis padres** Jose Alberto Castellanos Zuñiga y Norma Elma Barrios Piedra Santa por su amor, esfuerzo y apoyo brindado durante toda la trayectoria de esta etapa de mi vida.
- Mi hermano** José Alberto Castellanos Barrios por su paciencia, comprensión y apoyo durante los años de estudio de esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Facultad de ingeniería y docentes por la enseñanza impartida.

**Mis amigos de la
Facultad de Ingeniería**

Mario Diaz, Josué Juárez, Jeancarlo Roca, Jonathan Morataya, por haberme acompañado durante la carrera.

Mi asesor

Ing. Edinson Hernández, por el apoyo en el desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Delimitación y planteamiento del problema	5
2.2. Pregunta central de investigación	6
2.3. Preguntas orientadoras.....	7
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA SOLUCIÓN.....	11
5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	13
6. MARCO TEÓRICO.....	15
6.1. Fuentes de energía renovable	15
6.1.1. Energía solar	15
6.1.2. Energía eólica.....	15
6.1.3. Energía hidráulica.....	16

6.1.4.	Energía de biomasa	16
6.1.5.	Energía geotérmica	17
6.2.	Caracterización y cálculo de cargas	17
6.3.	Sistemas de generación fotovoltaicos	21
6.3.1.	Radiación solar.....	22
6.3.2.	Geometría solar.....	25
6.3.3.	Elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico	29
6.3.4.	Información necesaria para el cálculo de una instalación fotovoltaica	32
6.3.5.	Cálculo de cantidad de paneles solares necesarios	37
6.3.6.	Orientación de los paneles solares	38
6.3.7.	Cálculo de regulador	44
6.3.8.	Cálculo de inversor.....	45
6.3.9.	Acometida bidireccional.....	46
6.4.	Análisis económico de proyectos	51
6.4.1.	Metodologías.....	51
6.4.2.	Procedimiento para realizar la evaluación económica.....	54
6.4.2.1.	Criterios de evaluación.....	57
7.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	59
8.	METODOLOGÍA	63
8.1.	Tipo de estudio	63
8.2.	Diseño de investigación.....	63
8.3.	VARIABLES DE ESTUDIO	64
8.4.	Fases de investigación	65

9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	69
9.1.	Herramientas de recolección y procesamiento de la información	69
10.	CRONOGRAMA.....	71
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS	73
	REFERENCIAS	75
	APÉNDICES	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Variación de la Radiación atmosférica solar mensual.....	23
Figura 2.	Órbita elíptica.....	24
Figura 3.	Geometría solar	26
Figura 4.	Azimut del panel e irradiación solar anual	28
Figura 5.	Panel solar.....	30
Figura 6.	Aumento de temperatura	31
Figura 7.	Angulo de inclinación	39
Figura 8.	Angulo de azimut	40
Figura 9.	Mapa del sol.....	41
Figura 10.	Sistemas de colocación de paneles solares fijos. Eje con orientación sur	43
Figura 11.	Onda senoidal pura y onda senoidal modificada	45
Figura 12.	Columna de cometida para caja tipo 4.....	47
Figura 13.	Flujo circular económico.	54
Figura 14.	Diagrama unifilar final del diseño	67
Figura 15.	Cronograma de actividades	71

TABLAS

Tabla 1.	Variables e indicadores.....	64
Tabla 2.	Encabezado de la tabla	66
Tabla 3.	Presupuesto de la investigación	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
β:	Ángulo de inclinación
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
FC	Factor de corrección
o	Grados
o C	Grados centígrados
h	Horas
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt hora
kWh/m²	Kilo Watt hora por metro cuadrado
MJ/m²	Mega Joule por metro cuadrado
m	Metro
%	Porcentaje
P	Potencia eléctrica
Q	Quetzales
V	Voltios

GLOSARIO

Albedo	Relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
ANSI	<i>American National Standard Institute</i> (Instituto Nacional de Normas Americanas)
Azimut	Ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del panel FV y el meridiano del lugar. El ángulo es 0° cuando está orientado hacia el sur, -90° cuando están orientado hacia el este y $+90^{\circ}$ al oeste.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Corriente alterna	Circulación de electrones a través de un circuito, donde la magnitud y dirección varían cíclicamente.
HPS	Horas Sol Pico.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comisión Electrotécnica Internacional).

Irradiancia	Densidad de potencia incidente en una superficie por unidad de tiempo, se mide en kW/m ² .
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
NASA	<i>National Electrical Code</i> (código eléctrico nacional).
NTGDR	Norma técnica de generación distribuida renovable
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente
STC	Condiciones estándar de prueba de irradiancia y temperatura de una celda solar utilizada universalmente para caracterizar paneles con valores de 1 000 W/m ² , temperatura de 25° C, AM o masa de aire 1,5 G.
SWERA	<i>Solar and wind energy resource assessment</i> (evaluación de los recursos de energía solar y eólica).

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca desarrollar el diseño de un sistema de generación fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica de la Escuela Oficial Rural Mixta Los Ángeles del Matazano en aldea Boca de Monte Villa Canales, con la intención de conectarse a la red de distribución y ser reconocidos como un agente autoprodutor con excedente de energía ante la distribuidora, de tal forma que la energía generada por el sistema durante las horas sol pico pueda ser utilizada para el suplir las necesidades de energía eléctrica de la escuela y así reducir los gastos en este recurso que debe pagar la escuela cada mes.

Para el desarrollo de esta investigación se estableció contacto con la municipalidad de Villa Canales para obtener la información necesaria para dicho estudio, el edificio es de tres niveles y según su diseño se tiene un tablero de distribución principal y un tablero de distribución para cada nivel. de los planos de la instalación eléctrica se realiza una caracterización de la carga y una estimación de la demanda diaria de la escuela. Con esta información se procede a realizar el diseño técnico del sistema de generación fotovoltaico. Con el sistema de generación fotovoltaico dimensionado se realiza un análisis económico y de beneficio social del proyecto en donde se pretende determinar la viabilidad del proyecto en términos financieros y el impacto social generado en su entorno.

OBJETIVOS

General

Determinar la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema fotovoltaico que permita el suministro de energía eléctrica en una escuela del municipio de Villa Canales del departamento de Guatemala.

Específicos

1. Estimar el consumo de energía eléctrica proyectado de la escuela ubicada en el municipio de Villa Canales.
2. Proponer el diseño técnico de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía eléctrica de la escuela en el municipio de Villa Canales.
3. Analizar la viabilidad económica y beneficio social para la implementación de un sistema fotovoltaico en la escuela ubicada en el municipio de Villa Canales.

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son energías limpias, inagotables y con potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, algunos ejemplos de estas energías son la energía eólica, la energía solar o la energía hidráulica, hoy en día la energía primaria que consumimos proviene de fuentes no renovables. Las fuentes de energías no renovables, tales como las energías provenientes del petróleo, el carbón o el gas natural, provocan que se liberen grandes cantidades de elementos contaminantes a la atmósfera afectando la salud e impactando al planeta de manera grave.

Los gases que se emiten al hacer uso de energías no renovables se conocen como gases de efecto invernadero artificiales, la emisión de estos gases hace que la temperatura del planeta aumente y se provoque lo que se conoce como calentamiento global o cambio climático. Entre las consecuencias del aumento de la temperatura del planeta se puede mencionar el derretimiento de glaciares, sequías y cambios radicales en las estaciones del año.

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de generación fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica de la Escuela Oficial Rural Mixta Los Ángeles del Matazano en Aldea Boca del Monte, Villa Caneles, Municipio perteneciente al departamento de Guatemala.

La energía eléctrica es de uso primordial en la vida los ciudadanos y estudiantes del municipio de Villa Canales, pero el costo de esta energía va aumentando con el paso del tiempo provocando que cada vez se requiera más presupuesto por parte de la escuela para satisfacer esta necesidad de los

estudiantes y maestros, prepuesto que puede ser utilizado para el desarrollo de otras actividades que mejoren la calidad de educación en la escuela.

Para solucionar esta situación se propone el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica basado en la tecnología de paneles fotovoltaicos, el cual al conectarse a la red de distribución podrá reconocerse ante la distribuidora como un agente autoprodutor con excedente de energía, permitiendo así la reducción de los gastos en consumo de energía eléctrica de la escuela. Así mismo este proyecto puede presentarse como un apoyo a la mitigación del calentamiento global y gases de efecto invernadero.

Este estudio está constituido en cuatro capítulos principales, el primero consiste en la recopilación de información teórica útil para el desarrollo de este estudio, el segundo es la caracterización de la carga a instalar en la escuela obtenida a partir de los planos de la instalación eléctrica proporcionados por la municipalidad, el tercero, es el diseño técnico del sistema de generación fotovoltaico y el cuarto capítulo cosiste en el análisis de beneficio económico y social del proyecto.

1. ANTECEDENTES

Para el diseño de un sistema fotovoltaico para el abastecimiento de energía de la Escuela Oficial Rural Mixta Los Ángeles del Matazano en Aldea Boca del Monte, Villa Canales, se identificaron las siguientes investigaciones previas:

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2004) en su Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía -NTGDR-, define al usuario de energía excedentaria autoproducida como el usuario que inyecta energía eléctrica al sistema de distribución de energía. Dichos sistemas son creados por la generación de energía renovable, están ubicados dentro de sus instalaciones de consumo y no reciben remuneración por dicho excedente, se considerarán los artículos 17 y 36 a 40 de esta norma principalmente por cumplir con requisitos específicos.

Según María Kralj (2018) en su tesis de maestría titulada Energía en escuelas: consumos y potenciales ahorros, realizada por la de la universidad de Buenos Aires, habla sobre la energía consumida en las escuelas de dicho país, donde se realiza un análisis de la energía consumida por 10 escuelas de la ciudad de Buenos Aires, Argentina en función de sus dimensiones en metros cuadrados, dando como resultado un consumo variable entre 20 y 43 kWh/ m² anual. Para obtener dichos resultados se realizó la solicitud de las facturas de electricidad de las escuelas de los últimos 2 años, se realizaron visitas y estimaciones de los equipamientos de las escuelas y sus modos de uso considerando la cantidad de horas por día de cada elemento. Haciendo notar que la mayoría de energía consumida es por luminarias, donde cabe resaltar que en las escuelas que

utilizan tecnología led para su iluminación ahorran un 33 % en consumo de energía. (Kralj, M. 2018)

En cuanto a, Montañez, Vargas, Trujillo & Suárez, (2019) mencionan en su publicación Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico para la escuela Campo cuarenta y cinco, en el Centro de la Ciudad de Barrancabermeja, Colombia. Se tienen en cuenta el costo económico de implementar un sistema fotovoltaico y el precio del equipo ya que puede dar una solución para reducir gastos, teniendo en cuenta variables como la radiación solar promedio mensual en el sitio, estimada en 155.41 kWh/m² conseguida a través del programa Solarius PV, por análisis. Los recibos de electricidad de la escuela arrojan una demanda de electricidad de 649 kWh/mes, se estimó que para satisfacer dicha demanda se requiere un proyecto fotovoltaico con 9 paneles fotovoltaicos, un regulador de 3kW, 4 baterías de 12V 220 Ah y 1 inversor de 3 kW.

En cuanto a, Vargas, Gil, Díaz & Otálora (2019) dicen en su publicación Uso de energía solar para el sector académico de la escuela de Aviación de la Policía a través de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, desarrolló un análisis tecno-económico de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Aviación de la Policía en Marquita, Colombia. Consideran el uso de energías renovables, utilizando la tecnología, contribuyendo así a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático, al mismo tiempo buscan reducir el uso de energía eléctrica de la red y reducir sus respectivos cargos.

Para ello se consideran algunas variables como la demanda del edificio, que se obtiene mediante un analizador de redes instalado en el transformador, y las horas de sol estándar obtenidas por el programa RETScreen es de 4,19 horas, los equipos estimados para este proyecto fotovoltaico son 63 paneles

fotovoltaicos de 260W, inversor trifásico de 15kW, medidor bidireccional y estructuras soporte, cubriendo el 30 % de la demanda total. Se estima que el sistema puede generar 16,38 kW/hora de electricidad y en términos de protección ambiental se espera reducir la emisión de 0,39 tCO₂eq por mes.

En cuanto a, Fuentes y Romero (2020), en su artículo científico Procedimientos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos de energía solar, desarrollaron un algoritmo, expresado en forma de diagrama de flujo del procedimiento de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, explicaron que en estos sistemas intervienen los principales componentes, estos son paneles fotovoltaicos, reguladores de carga, inversores y paquetes de baterías.

Para determinar bien el tamaño del sistema, los autores explican cómo analizar las características de la carga del edificio para comprender la energía que debe satisfacerse, determinar los parámetros de tiempo de insolación efectiva del proyecto y la irradiación solar del área geográfica, muestran cómo determinar la cantidad de radiación solar de los paneles, y mencionan que al elegir un regulador de carga, se debe evaluar si su potencia es mayor a la del panel, luego se debe realizar y evaluar el arreglo de conexión de los paneles solares y si el panel proporciona un voltaje más bajo que el voltaje de entrada del controlador y, finalmente, se debe elegir el inversor y calcular la disposición del paquete de baterías.

En cuanto a, Mejía (2020), en su artículo científico Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, presenta el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo que suministra energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de dicha universidad. El objetivo del proyecto

fue proporcionar un servicio eléctrico confiable y de bajo costo en el campus universitario, por lo que se evaluaron varias opciones de generación de energía, incluyendo los sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas pueden mejorar la calidad del suministro eléctrico, reducir el impacto ambiental y garantizar perfiles de tensión adecuados. Además, se evaluó y caracterizó el recurso solar disponible en el sitio para diferentes ángulos de inclinación utilizando datos de la NASA. También se estimó la demanda de consumo de energía para el laboratorio y se diseñaron todos los componentes del sistema fotovoltaico autónomo.

Donde cabe resaltar que el valor de radiación utilizado para el sector es de 3.88 kWh/m²/día. Aplicando el criterio del mes menos favorable, el ángulo de inclinación es de 5 grados, la demanda del laboratorio es de 2,94 kW. Los componentes del sistema se dimensionaron de tal forma que cubriera la demanda real de energía eléctrica siendo esta de 8,98 kWh/día a una tensión nominal de 48 V.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Delimitación y planteamiento del problema

La Municipalidad de Villa Canales cuenta con varias escuelas en funcionamiento, y planea construir más escuelas dentro de su territorio. El Ministerio de Educación cuenta con un presupuesto para cada escuela en función de su cantidad de estudiantes, una parte del presupuesto es para el funcionamiento y otra parte es para inversión, el pago de la factura eléctrica se realiza con la parte del presupuesto destinado a funcionamiento, lo cual se convierte en un costo alto considerable.

El costo mensual de energía eléctrica de la escuela es alto debido a los precios por kWh presentados por la distribuidora y la cantidad alta de energía eléctrica necesaria para satisfacer las necesidades de la escuela, de octubre del año 2020 a octubre del año 2022 se puede apreciar un constante aumento del precio por kWh siendo de Q1.2 a Q1.39 por EEGSA, de Q1.72 a Q2.1 por DEORSA y de Q1.81 a Q2.2 en DEOCSA datos que se encuentran en los ajustes tarifarios publicados por la CNEE, lo cual es lamentable ya que Guatemala cuenta con un alto índice de radiación solar el cual no está siendo aprovechado para el abastecimiento de energía eléctrica en las escuelas de este sector.

Guatemala cuenta con un promedio anual de radiación solar global para todo el país de 5.3 kW/m²/día por lo que es importante aprovechar este recurso energético en el municipio de Villa Canales y resto del país. Sin embargo, muchas veces el poco conocimiento por parte de las autoridades municipales sobre temas

técnicos, legales o normativos asociados al uso de energías renovables puede convertirse en una barrera para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Debido al gasto mensual en energía eléctrica se reduce el presupuesto para suplir otras necesidades de la escuela lo cual lleva a una menor calidad de educación y a largo plazo una menor calidad de vida en los estudiantes.

El desaprovechamiento del recurso energético solar provoca que se utilicen energías no renovables para satisfacer la demanda del país, esto provoca una mayor emisión de gases de efecto invernadero y por ende un aumento del calentamiento global y cambio climático. El Congreso de la República ha declarado de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables, por lo que se ha emitido la Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable que tiene como objetivo el establecer incentivos fiscales, económicos y administrativos para promover el desarrollo de proyectos de energía renovable en el país. Según el MEM (2021), la matriz energética de Guatemala ha alcanzado un 12.34 % de uso de fuentes no renovables para la generación de energía eléctrica.

2.2. Pregunta central de investigación

Por lo anterior se plantea la pregunta principal de este estudio:

- ¿Cuál es la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema fotovoltaico que permita el suministro de energía eléctrica de una escuela del municipio de Villa Canales?

2.3. Preguntas orientadoras

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el consumo de energía eléctrica proyectado de la escuela de Villa Canales?
- ¿Cuál es el diseño técnico del sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de la escuela de Villa Canales?
- ¿Cuál es el ahorro económico y beneficio social obtenido a partir de la implementación de un sistema fotovoltaico en la escuela de Villa Canales?

3. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de aspectos técnicos económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos de la Maestría en energía y ambiente.

El diseño de investigación aporta un análisis técnico y económico del aprovechamiento del recurso energético solar por medio de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía eléctrica de una escuela en Villa Canales, con la implementación de dicho proyecto se espera un ahorro económico mensual en la facturación de energía eléctrica lo que provoca un aumento en el presupuesto para el desarrollo de otras actividades de la escuela.

Del proyecto se beneficiarán los estudiantes de la escuela EORM Los Ángeles del Matazano al obtener una mayor disponibilidad del presupuesto de la escuela para el desarrollo de actividades que mejoren la calidad de educación en la vida de los estudiantes, por otro lado, el desarrollo de este tipo de proyectos de energías renovables provoca un aporte a la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero y disminución del calentamiento global.

El desarrollo de este estudio puede ser un punto de partida para que la municipalidad desarrolle este tipo de proyectos en el resto de sus escuelas, tanto existentes como por construirse, extendiendo así el impacto del beneficio social a los estudiantes y como base para que otros profesionales desarrollen estudios del aprovechamiento energético solar en el sector.

4. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA SOLUCIÓN

A partir de la presente investigación se estimará el consumo energético de una escuela en Villa Canales con lo cual se busca reducir los costos derivados de este consumo energético mediante la implementación de un sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico le permitirá a la escuela poder presentarse como auto productor con excedente de energía lo que permitirá reducir los costos derivados del consumo energético de la escuela.

El ámbito en el que se desarrolla el proyecto es en la Escuela Oficial Rural Mixta Los Ángeles del Matazano en aldea Boca del Monte, Municipio de Villa Canales perteneciente al departamento de Guatemala, debido que el desarrollo de proyecto se encuentra en área metropolitana la empresa encargada de la distribución de energía eléctrica es EEGSA.

Para lo que, es necesario determinar la demanda de energía eléctrica de la escuela por medio de una caracterización de la carga, para posteriormente dimensionar los componentes que formaran parte del sistema fotovoltaico. Asimismo, se realizará un análisis financiero para determinar el ahorro económico generado por el proyecto, así como un análisis del beneficio social generado.

5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Debido a que este diseño de investigación es de carácter descriptivo – cuantitativo no se plantea hipótesis.

6. MARCO TEÓRICO

Este capítulo está dedicado a presentar la teoría principal necesaria para el desarrollo de este estudio.

6.1. Fuentes de energía renovable

Las fuentes de energía renovables “son fuentes de energía limpias e inagotables que tienen el potencial de ser utilizadas en cualquier lugar de la Tierra, algunos ejemplos de estas fuentes de energía son la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica” (Energía Renovable, 2020. párr. 1).

6.1.1. Energía solar

Además de proporcionar luz y calor, “el sol también puede utilizarse para generar electricidad. Las celdas fotovoltaicas reciben la luz solar, donde la interacción del material semiconductor de cada celda con la radiación solar produce energía eléctrica en forma de corriente continua” (Salgado, sf. Párr. 2). Estas celdas se combinan en paneles y se conectan entre sí para obtener la máxima cantidad de energía. Luego, la energía se lleva a un inversor, donde la Corriente directa se convierte en Corriente alterna para su uso.

6.1.2. Energía eólica

Un aerogenerador es una máquina que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica y finalmente en energía eléctrica. Un

aerogenerador consta de palas, un buje, un eje lento, un mecanismo de doble velocidad, un eje rápido y un generador. Las aspas están diseñadas para capturar la máxima energía cinética contenida en el flujo de aire y dan vueltas para hacer girar el eje lento, que se incrementa mediante un mecanismo multiplicador de velocidad conectado a un generador a través del eje rápido para crear electricidad. (John Cockerill Company, 2021. párr. 2-10)

6.1.3. Energía hidráulica

La hidroelectricidad o energía hidroeléctrica es la que “aprovecha el movimiento del agua para generar electricidad, para ello se requiere un embalse a una altura por encima de la central eléctrica, el agua es transportada a través de tuberías, convirtiendo así la energía potencial en energía cinética” (Iberdrola, 2022. párr. 1). El agua que fluye convierte la energía cinética en rotación a través de la energía de la turbina y finalmente el eje de la turbina se conecta al rotor del generador para convertir la energía de rotación en energía eléctrica.

6.1.4. Energía de biomasa

Jarabo (2007) menciona que es la energía derivada de desechos orgánicos de origen animal y vegetal. La biomasa se utiliza como combustible para calentar tuberías llenas de agua, al convertir el agua en vapor que se utiliza para impulsar una turbina cuyo eje está conectado al rotor de un generador. (p.1)

6.1.5. Energía geotérmica

Es energía en forma de calor que se encuentra en las profundidades de la tierra. Esta energía se manifiesta a través de procesos geológicos, como géiseres que arrojan agua caliente, fuentes termales o volcanes post mortem. La conversión de energía geotérmica en electricidad implica el uso de vapor de agua a más de 120 grados centígrados, que se hace pasar a través de una turbina conectada a un generador para crear electricidad. (MEM, 2020. párr. 3)

6.2. Caracterización y cálculo de cargas

Carga es la carga requerida para la instalación, no la suma de los equipos a instalar. Para el cálculo de la carga y dimensiones de la barra se realizó una tabla de cargas, en la cual se mostraron y calcularon los siguientes elementos:

- Circuito: es el código designado de cada circuito.
- Descripción: es la descripción del tipo de carga instalada en cada circuito.
- Carga por unidad: es la potencia en watts estimada para cada unidad del tipo de carga conectada al circuito.
- Número de unidades: es el número de unidades conectadas en el circuito.

- Tensión nominal: es la tensión nominal del circuito.
- Carga total c/c: Unidad de carga multiplicada por el número de unidades en cada circuito, el resultado es en vatios.

$$\text{Carga total} = \text{Carga por unidad} \times \text{unidades}$$

- I nominal: es la corriente nominal estimada a través del circuito con todas las cargas conectadas, para cargas monofásicas.

$$I \text{ nominal} = \frac{\text{Carga total}}{\text{Votaje nominal} \times \text{Factor de potencia}}$$

- Calibre: de acuerdo con las especificaciones de los conductores utilizados en el circuito, se deben considerar los siguientes factores de corrección para la selección de las especificaciones de los conductores:
 - Tipo de tubo (FC_T)
 - Temperatura del ambiente (FC_{TA})
 - Tipo de servicio (FC_S)
 - Número de conductores en el tubo. (FC_{NC})

$$I_{new} = \frac{I_{nominal}}{FC_T \times FC_{TA} \times FC_S \times FC_{NC}}$$

- Interruptor: el interruptor consta de 2 variables, el número de polos y la corriente nominal del interruptor.
- Factor de carga: es un valor porcentual que depende de cuanta carga conectada del circuito se considera conectada al mismo tiempo, es decir, Load Ratio es la relación entre la demanda máxima del circuito y la carga total conectado a él.
- Demanda: es la carga total del circuito multiplicada por el factor de demanda.

$$\text{Demanda} = \text{Factor de carga} \times \text{Carga total instalada}$$

- Equilibrio de fases: es la parte que distribuye la carga, de forma que las cargas conectadas a cada fase queden equilibradas, y el estándar es el siguiente.

SI

$$\left| \frac{(0.5 \times \text{Carga total instalada} - \sum \text{cargas de fase A})}{0.5 \times \text{Carga total instalada}} \times 100 \right| < 10$$

Y

$$\left| \frac{(0.5 \times \text{Carga total instalada} - \sum \text{cargas de fase B})}{0.5 \times \text{Carga total instalada}} \times 100 \right| < 10$$

Si los satisface, la carga en las barras se considera equilibrada.

- Tamaño del tablero: este es un cálculo para tener en cuenta futuras conexiones, dejando espacio libre en el tablero

$$\text{Tamaño de tablero} = \frac{\text{No. polos utilizados}}{0.7}$$

- Carga total instalada: se refiere a la suma de todas las cargas instaladas en el panel.
- Demanda total: es la suma de la demanda máxima de cada circuito.
- Corriente de barras: para el cálculo de la corriente de barras se utiliza el doble de la demanda dividido el voltaje.

$$I_{barras} = \frac{2 \times \text{Demanda total}}{\text{Voltaje del tablero}}$$

- Paneles: contiene propiedades para los paneles seleccionados en función de los datos calculados. (Bratu y Campero, 2006. p. 75-107)

Para obtener más información sobre los cálculos de carga y el dimensionamiento de los paneles, consultar los capítulos 4, 5 y 6 del Libro de instalación eléctrica de N. Bratu como referencia.

6.3. Sistemas de generación fotovoltaicos

la energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y renovable que aprovecha la radiación solar para generar electricidad. Tiene su base física en lo que se conoce como efecto fotoeléctrico, lo que significa que ciertos materiales pueden absorber fotones (partículas de luz) y liberar electrones, creando una corriente eléctrica. (IDEA, 2011, p. 8)

Para ello se utiliza un dispositivo semiconductor denominado pila o batería fotovoltaica, que puede estar fabricado con silicio monocristalino, policristalino o amorfo u otros materiales semiconductores de película fina.

El silicio monocristalino se obtiene a partir de un solo cristal de silicio puro y puede alcanzar eficiencias máximas de paneles solares, entre 18 % y 22 %. El polisilicio está hecho de varios cristales, por lo que son más baratos y tienen una eficiencia media entre el 16 y el 17,5 %.

Finalmente, “aquellos paneles solares hechos de silicio amorfo consisten en una red cristalina desordenada, lo que conduce a un menor rendimiento de

estos paneles solares, con una eficiencia promedio entre el 8 y el 9 %, pero actualmente están abandonados” (Alonso, 2015. párr. 2-3).

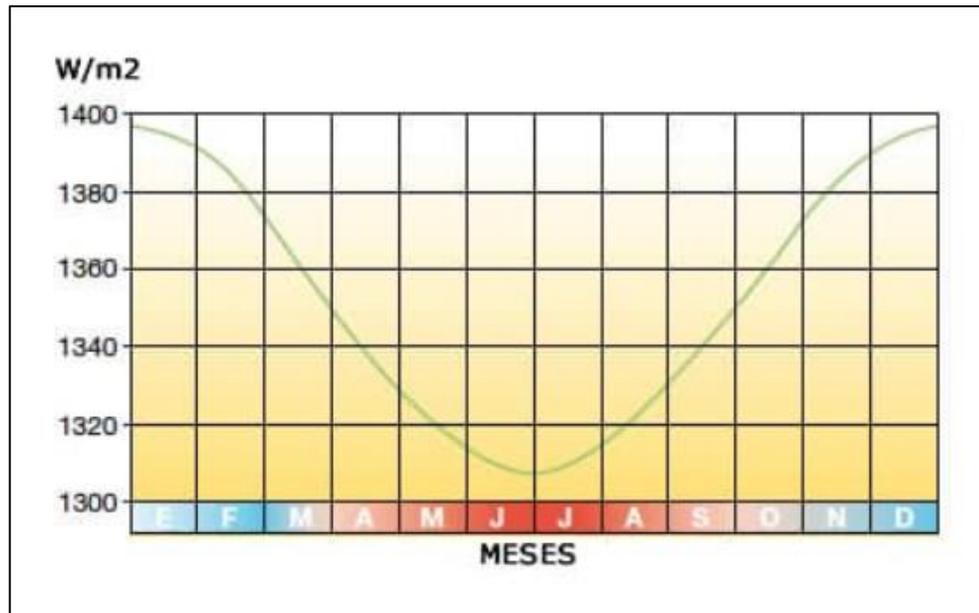
6.3.1. Radiación solar

El sol genera una cantidad constante de energía y cuando golpea la superficie terrestre pierde parte de ella debido a diferentes fenómenos ambientales.

La potencia radiante de $1\ 367\ \text{W/m}^2$, denominada constante solar, que llega al planeta Tierra no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos, la actividad humana, la forma propia de la Tierra, el ciclo día y noche y la órbita elíptica de la Tierra. (Alonso, 2015. párr. 2-3)

Figura 1.

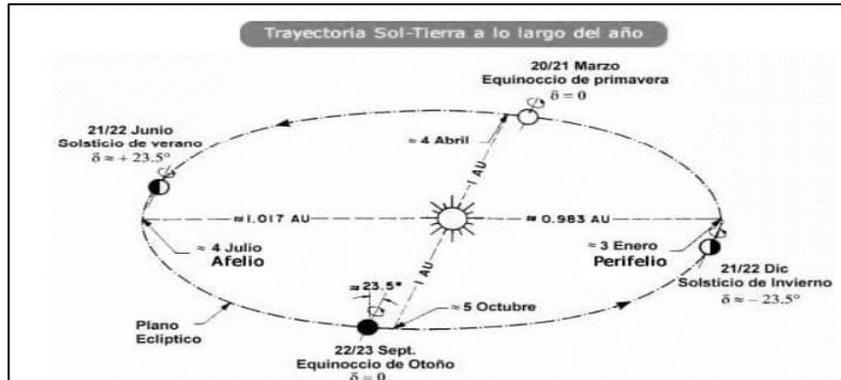
Variación de la Radiación atmosférica solar mensual



Nota: Variación de la radiación atmosférica solar mensual. Obtenido de Alonso, (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica*. (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

Debido a “esta órbita elíptica, la radiación que llega a la atmósfera es mayor en los meses de invierno que en los meses de verano porque, la tierra está más alejada del sol en esos meses, debido a la órbita elíptica cerca” (Alonso, 2015. párr. 4). Como se muestra en la siguiente figura:

Figura 2.
Órbita elíptica



Nota. Figura de la órbita elíptica. Obtenido de Alonso, (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica*. (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-olar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia--hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

En particular, la distancia entre el sol y la tierra fluctúa entre 1,017 UA el 4 de julio (afelio) y alrededor de 0,983 UA el 3 de enero (perihelio). La Unidad Astronómica (AU), que es la distancia promedio entre el sol y la tierra (150 millones de km).

La atmósfera mitiga la radiación solar debido a los fenómenos de reflexión, absorción y difusión sobre ella de los constituyentes atmosféricos (moléculas de aire, ozono, vapor de agua, CO₂, aerosoles, entre otros.).

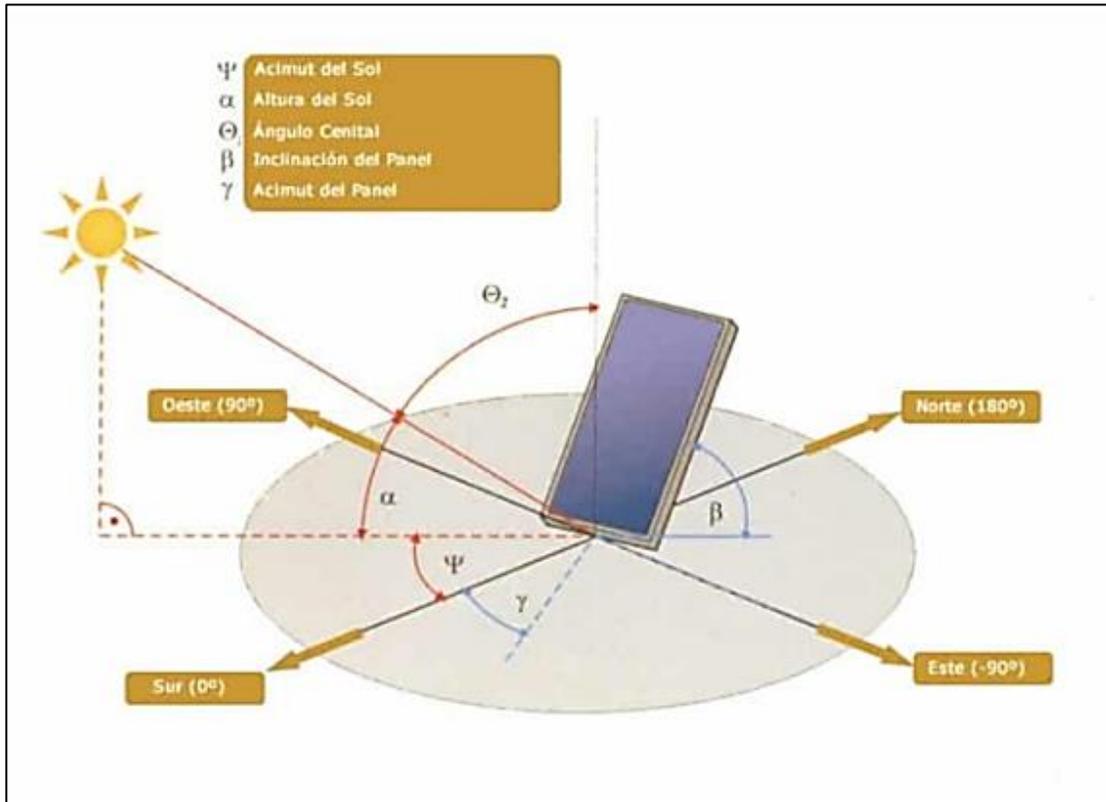
La dispersión que se produce por la presencia de polvo y contaminación del aire depende en gran medida del lugar de medición y es mayor en las zonas industriales y en los lugares más densamente poblados. Los efectos meteorológicos locales, como la nubosidad, la lluvia o la nieve, también afectan la cantidad de radiación solar que llega a un lugar en particular. (Alonso, 2015. párr. 5-7)

- “Radiación directa: afectada por el fenómeno de absorción, que se recibe directamente del sol. Cambia según la cobertura de nubes en el momento y la estación del año en que se mide” (Alonso, 2015. párr. 10).
- “Radiación difusa: afectada por el fenómeno de la difusión, la radiación recibida por el reflejo de la radiación solar sobre las nubes y las partículas del aire es más recibida en los días nublados” (Alonso, 2015. párr. 11).
- “Radiación de albedo: es básicamente radiación reflejada, como la de superficies blancas. Es muy utilizado en componentes bifaciales” (Alonso, 2015. Párr. 13).

6.3.2. Geometría solar

Para calcular la potencia de salida de una instalación fotovoltaica se debe conocer la irradiancia solar en el plano correspondiente a la instalación en diferentes épocas del año y la trayectoria del sol en ese lugar. La posición del sol en cualquier lugar está determinada por la altitud y el azimut del sol. (Alonso, 2015. párr. 28)

Figura 3.
Geometría solar



Nota: figura de geometría solar. Obtenido de Alonso, (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica*. (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

El azimut solar es el ángulo formado por la dirección sur y la proyección horizontal del sol, de noreste a norte o de noroeste a norte, considerando la dirección sur, $\psi = 0^\circ$, considerando que el ángulo entre la dirección sur y la dirección noreste es negativo y en el sur y noroeste entre es positivo.

Por ejemplo, $\psi = -90^\circ$ para el este y $\psi = 90^\circ$ para el oeste. La inclinación viene definida por el ángulo β (para el módulo) y la altura solar α o su complementario θ_z (ángulo cenital).

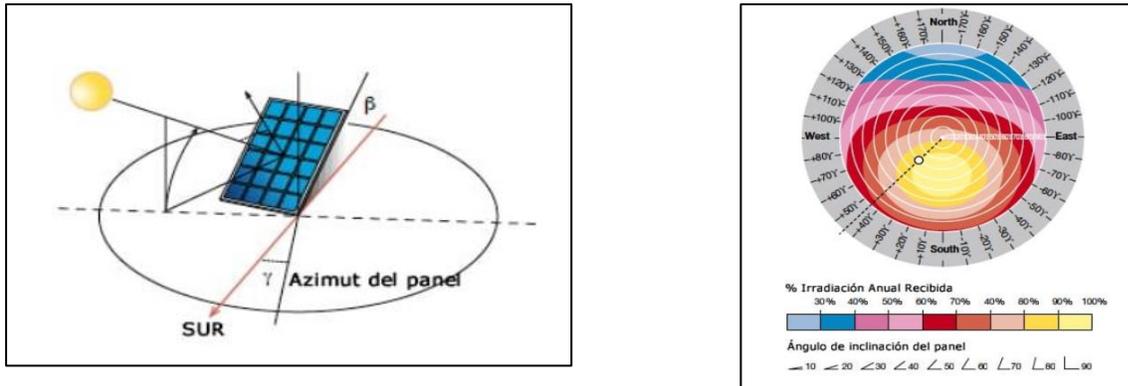
La radiación solar sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar es siempre mayor que si se coloca la misma superficie en cualquier otro lugar.

Dado que el azimut y la altitud solar varían a lo largo del día y del año, es lógico que el ángulo de incidencia para una radiación óptima no sea siempre constante. La única vez que esto puede suceder es si el sistema cambia constantemente de inclinación y orientación, como un seguidor solar.

Para considerar si una superficie existente (techo, pérgola) es apta para el aprovechamiento solar, es necesario conocer la radiación solar incidente sobre dicha superficie. (Alonso, 2015. párr. 14-26)

Figura 4.

Azimut del panel e irradiación solar anual



Nota. Panel de irradiación. Obtenido de Alonso, (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica*. (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 5 de marzo de 2023. De dominio público.

La figura 4, muestra un ejemplo de un gráfico donde se puede ver que el porcentaje de irradiancia que recibirán los paneles solares depende de su orientación relativa al sur (azimut del panel) y su ángulo de inclinación.

En el ejemplo de la imagen se observa una instalación fotovoltaica con un azimut de 45° (hacia delante, por estar orientado al oeste), representada por la línea de puntos que une el centro con 45° , y una inclinación de 30° (donde es de 30° con la circunferencia de la intersección de la línea de puntos), se produce en la zona de máxima

radiación, por lo que desviaciones de hasta 45° no afectan mucho a la producción.

En este ejemplo, alrededor del 90 % de la radiación en un año. Este tipo de gráfico debe adaptarse a cada latitud, ya que existen variaciones importantes según esa latitud.” (Alonso, 2015. párr. 27-30)

6.3.3. Elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico

- Paneles solares

En cuanto a, Alonso (2015) menciona que son los encargados de generar electricidad, pueden ser de varios tipos, de los cuales los más utilizados para este tipo de instalaciones son los paneles en tecnología monocristalina y policristalina. Paneles solares fotovoltaicos monocristalinos y paneles policristalinos,” cuyas celdas están conectadas en serie, el voltaje de 36 celdas conectadas es de aproximadamente 12-18 voltios, y el voltaje de 72 celdas conectadas es de aproximadamente 24-34 voltios. (párr. 8)

Figura 5.

Panel solar

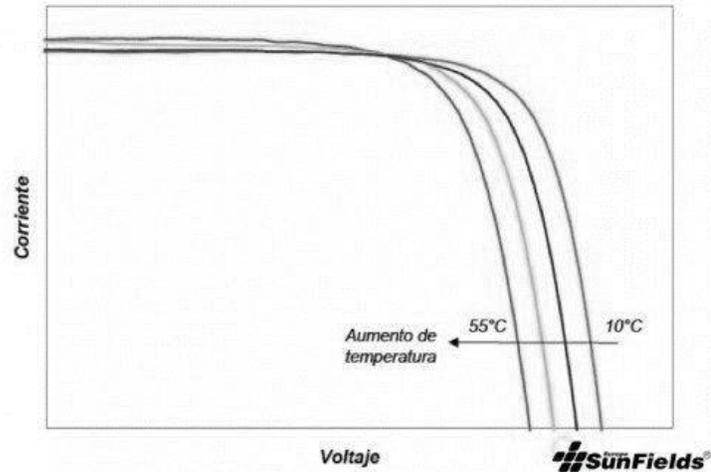


Nota. Figura de Obtenido de panel solar. Alonso (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica.* (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

Es importante prestar atención siempre a las curvas IV proporcionadas por cada fabricante en sus fichas técnicas y el efecto de la temperatura en la corriente y voltaje del módulo (como se muestra). Un aumento de la temperatura aumenta ligeramente la corriente y disminuye en mayor medida la tensión de salida del módulo.

Figura 6.

Aumento de temperatura



Nota. Aumento de temperatura. Obtenido de Alonso, (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica.* (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

- Regulador de carga

Se encarga de controlar la carga y descarga de la batería y evitar la sobrecarga o descarga. En términos simples, el regulador de voltaje puede entenderse como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre el tablero de la batería y la batería para el proceso de carga, y abierto cuando la batería está completamente cargada. La corriente máxima de entrada y salida del regulador apropiado para cada aplicación dependerá de la corriente máxima que el sistema fotovoltaico pueda generar para la entrada y la corriente máxima para la carga generada en la salida.

Teniendo en cuenta posibles picos de irradiación o cambios de temperatura, se recomienda que, al seleccionar un regulador de voltaje, se elija un regulador de voltaje que sea un 15-25 % más alto que la corriente de cortocircuito que puede alcanzar el sistema de generación de energía fotovoltaica. (entrada) o bien, puede consumir la carga del sistema de la misma (salida). La elección del regulador solar soportará la mayor de las dos corrientes calculadas. (Alonso, 2015. párr. 27-30)

- Inversores solares

Si la carga que se tiene que alimentar es de 230 Vac, se necesita un dispositivo que convierta la CC del regulador en CA para alimentar la carga. Esto es lo que hace un inversor. Al seleccionar un inversor solar de 120 a 220 v, se considera la potencia requerida por la suma de todas las cargas de CA instantáneamente, por lo que se seleccionará un inversor con un 20 % más de potencia que la requerida por la carga, suponiendo que estén funcionando simultáneamente.

6.3.4. Información necesaria para el cálculo de una instalación fotovoltaica

- Estimar el consumo que debe cubrir la instalación fotovoltaica:

Se debe determinar el consumo que cubre la instalación fotovoltaica. Para ello, se calcula la potencia total de la instalación teniendo en cuenta la potencia específica y las horas de funcionamiento diarias estimadas de cada carga

conectada a la instalación. Por lo tanto, es necesario recopilar la siguiente información:

- La potencia unitaria de cada carga debe listar cada aparato, luz, aire acondicionado, entre otros, cualquier equipo eléctrico utilizado, y anotar la unidad de voltaje para cada uno, esto estará en alguna etiqueta para cada equipo.
- Tiempo estimado de uso por día. La cantidad de horas que normalmente se usa cada dispositivo está marcada junto a la potencia de la unidad. Esto da datos sobre la energía (Whd) consumida por cada dispositivo.
- La ubicación del artículo. Averiguar dónde se llevará a cabo la instalación fotovoltaica para conocer las horas pico de sol disponible durante todo el año.
- Para la potencia de la unidad, consultar la etiqueta de cada unidad. Su unidad es Watt (W).
- Para saber el consumo de energía de cada dispositivo por día, se puede utilizar la siguiente fórmula:

Energía-Equipo [Whd] = Potencia unitaria [W] * Número de horas uso diario [h]

Alonso (2015), “se mide en Whd (Watts hora día). Como es lógico, para saber la energía total consumida diariamente, habrá que calcular la energía consumida por cada uno y luego sumarlas todas” (párr. 9).

Pasos para dimensionar un sistema de generación fotovoltaico

- Primero, se debe introducir un concepto básico, las horas pico de sol o HPS [horas].
- Se puede definir como el número de horas para una irradiación solar supuesta constante de 1000 W/m² en cada panel solar que forma una instalación fotovoltaica. En otras palabras, una hora solar pico HPS equivale a 1 Kwh/m², o 3,6 MJ/m².
- En otras palabras, es una forma de calcular la energía recibida del sol, agrupándola en paquetes, cada paquete de 1 hora recibe 1000 vatios/metro cuadrado.

En este punto, hay que resaltar:

- Irradiancia: es la magnitud que describe la radiación o intensidad de la luz solar que llega en potencia instantánea por unidad de superficie, W/m² o equivalente.
- Irradiancia: es la irradiancia recibida en un tiempo dado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de área. Suele medirse en Wh/m² o, si es en días, en Wh/m²/día o equivalente.

Luego, para calcular el valor HPS, el valor de la irradiancia incidente debe dividirse por el valor de la potencia irradiada en condiciones de medición estándar (STC), porque es en estas condiciones que se cumplen las características eléctricas del módulo fotovoltaico.

Este valor de irradiancia es de 1000 W/m^2 en condiciones de medición estándar. Es decir, si se divide el dato de radiación solar de un día determinado por 1000 se obtiene el HSP. Por ejemplo, si se tiene 3.800 Wh/m^2 de radiación, se le pasa esto al HSP, se divide entre 1.000 Wh/m^2 , y se obtiene 3,8 HPS.

Los pasos que siempre se siguen para dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo son:

- Estimaciones de consumo: los datos proporcionados por el consumidor son esenciales, y deben ser lo más veraces posible para evitar desviaciones dimensionales. Si la instalación se realiza en una vivienda que se utiliza todos los días del año, se elegirá la media del año. “Si la instalación está destinada a un uso ocasional, como en verano, se debe seleccionar un valor para los meses de verano.” (Alonso, 2015. Parr. 12)
- Datos de donde se realizará la instalación para saber que irradiancia se tiene.
- Dimensiones del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).
- El tamaño del sistema de almacenamiento (número de células solares). Para las dimensiones del sistema acumulativo, es importante tener en cuenta el número de días de autonomía que se le otorgará a la instalación. Para proyectos domésticos, normalmente se requieren de 3 a 5 días de autonomía, 6 o 7 días en el caso de zonas de baja

irradiancia donde pueden pasar algunos días en condiciones de poca luz. Para sistemas remotos, normalmente se requieren 7 y 10 días de autonomía.

- El tamaño del controlador de carga
 - Selección de inversor
- Estimación de pérdidas

Azimut no óptimo: el mejor azimut de los paneles solares orientados al sur es 0 grados, pero por motivos de estética y comodidad de instalación, a veces se colocan paralelos a la longitud del edificio, lo que provocará un cierto azimut.

IDAE (2011), "Se calcula la pérdida causada por ángulos de azimut no óptimos de acuerdo con las especificaciones técnicas de red compiladas y se usa la siguiente fórmula para ángulos de inclinación menores a 15 grados." (p. 9).

$$\text{Perdidas (\%)} = 100 * [1.2 \times 10^{-4} * (\beta - \phi + 10^2)] \quad \text{para } \beta < 15^\circ$$

Donde

β : inclinación del panel fotovoltaico con respecto a la horizontal

ϕ : latitud del lugar donde se realiza el estudio

Debido a sombra y ambiente: se consideran las características de los paneles fotovoltaicos de potencia PTC (Condiciones de prueba de escala de servicio público o condiciones de prueba de PVUSA) debido a sombra

parcial, acumulación de suciedad, degradación natural de las celdas solares y pérdidas por reflectividad. La potencia PTC es proporcionada por el fabricante y es potencia medida en un entorno más realista que la potencia STC (condiciones de prueba estándar) medida en un entorno de laboratorio controlado, a partir de estos valores calculamos las pérdidas que puede proporcionar el entorno, a continuación, según IDAE (2011), la especificación de las condiciones técnicas de la conexión preparada a la red viene dada por la ecuación. (IDEA,2011, p. 11)

$$Perdidas (\%) = \frac{P_{STC} - P_{PTC}}{P_{STC}} \times 100$$

Donde:

P_{STC} : condiciones de prueba estándar

P_{PTC} : condiciones de prueba para basculas de servicios públicos

La pérdida inversa del inversor existe en las características del inversor.

6.3.5. Cálculo de cantidad de paneles solares necesarios

La radiación solar global en el sitio debe determinarse utilizando software de soporte como SWERA o NASAPower.

Se usa la siguiente ecuación para determinar la cantidad de paneles solares necesarios para alimentar la carga del edificio.

$$NT = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} \cdot HPS_{crit} \cdot PR}$$

Donde

L_{mdcrit} : el consumo medio diario mensual para el mes crítico

P_{MPP} : la potencia pico del módulo en condiciones estándar de medida STC.

HPS_{crit} : son las horas de sol pico del mes crítico.

PR : el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.90.

“Debe elegir un voltaje de salida y determinar la conexión en serie paralela en función de ese voltaje. Y elija el tipo de panel a utilizar de acuerdo con la cotización del mercado, para determinar la potencia máxima del módulo” (Alonso, 2015. Párr. 15).

6.3.6. Orientación de los paneles solares

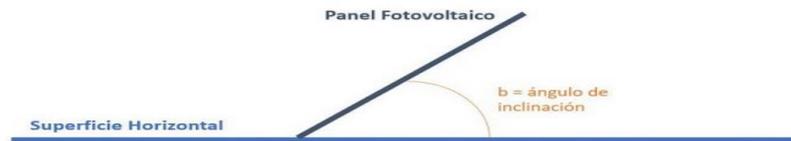
- Determinación de inclinación y azimut

La orientación de los paneles solares es un factor muy importante en la eficiencia del sistema de generación de energía. Para ello intervienen dos ángulos principales, la inclinación y el azimut.

“Inclinación: es el ángulo que forma el panel solar con respecto al plano horizontal en el que está colocado” (Jiménez, 2019. Párr. 5).

Figura 7.

Angulo de inclinación



Nota. Figura del Angulo de inclinación. Obtenido de Jiménez (2019). *¿Qué es y cómo se calculan el ángulo de acimut y el ángulo de inclinación en las instalaciones solares fotovoltaicas?*. (<https://aprendecienciaytecnologia.com/2019/12/03/que-es-y-como-se-calculan-el-angulo-de-acimut-y-el-angulo-de-inclinacion-en-las-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>), consultado el 11 de marzo de 2023. De dominio público.

Jiménez (2019). “Para calcular el ángulo de inclinación (β) se utiliza la siguiente ecuación:” (párr. 6)

$$\beta = 3.7 + 0.69 * L$$

Donde:

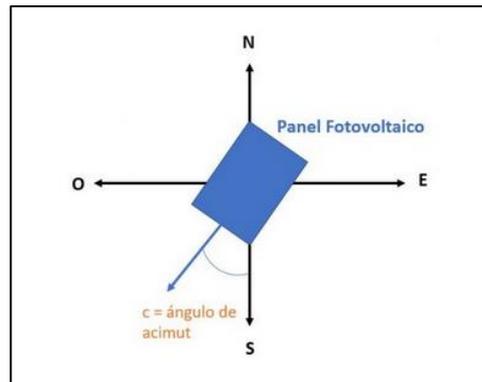
β : es el ángulo de Inclinación

L: es la longitud del panel

“Angulo de azimut: es el ángulo formado por la proyección de la línea vertical de la superficie del módulo sobre el plano horizontal y el meridiano del mismo” (Jiménez, 2019. Párr. 8).

Figura 8.

Angulo de azimut



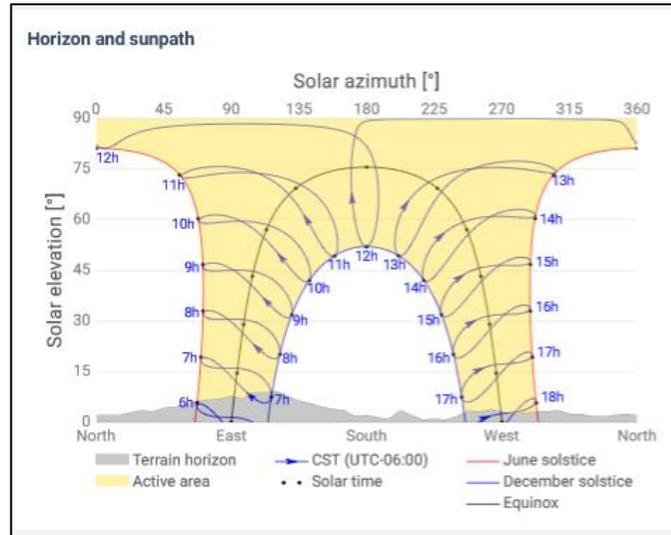
Nota. Figura de ángulo de azimut. Obtenido de Jiménez (2019). *¿Qué es y cómo se calculan el ángulo de acimut y el ángulo de inclinación en las instalaciones solares fotovoltaicas?*. (<https://aprendecienciatecnologia.com/2019/12/03/que-es-y-como-se-calculan-el-angulo-de-acimut-y-el-angulo-de-inclinacion-en-las-instalaciones-solares-fotovoltaicas/>), consultado el 11 de marzo de 2023. De dominio público.

“Si el ángulo se forma entre el sur y el oeste geográficos, el valor será positivo, sin embargo, si el ángulo se forma entre el sur y el este geográficos, el valor será negativo” (Jiménez, 2019. Párr. 9).

Mapa del sol: permite conocer la trayectoria del sol en cualquier mes y en cualquier época del año. A continuación, se muestra un ejemplo de mapa solar cilíndrico obtenido con el software SWERA.

Figura 9.

Mapa del sol



Nota. Figura del mapa del sol. Alonso, (2015). *Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica*. (<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WCf563QA8VQJ:https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=gt>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

Cuando se tiene un mecanismo de seguimiento de la trayectoria del sol, la cara del sol se puede utilizar para programar el movimiento del mecanismo. En este caso se dispone de un soporte fijo para apoyar los paneles solares, por lo que será necesario orientar de forma óptima los paneles. Dado que el proyecto está ubicado en el hemisferio norte de la tierra, y en el mapa del sol se ve que la trayectoria del sol es de este a oeste durante todo el día, se concluye que el mejor acimut para los paneles solares es 0 grados inclinados hacia el sur. Sin embargo, los paneles solares se pueden colocar en un ángulo distinto de cero por razones de estética y facilidad de montaje.

Distancia mínima entre filas de módulos: de acuerdo con las condiciones y especificaciones técnicas de la red formuladas por IDEA, la distancia medida en dirección horizontal o entre una fila y un obstáculo de cierta altura se recomienda para asegurar que el tiempo de insolación alrededor del mediodía en invierno solsticio es menos 4 horas.

En cualquier caso, la distancia ha de ser como mínimo igual a $h \cdot k$ siendo h la altura y k un factor adimensional al que se le asigna el valor de:

$$k = \frac{1}{\text{tang}(61^\circ - \text{latitud})}$$

Donde

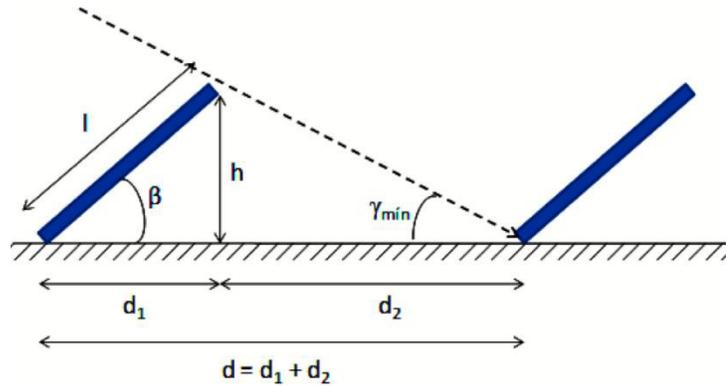
h : es la altura de elevación del panel

k : es un factor adimensional multiplicativo

Para determinar la altura del panel solar y la distancia horizontal que ocupa se debe aplicar cálculos de trigonometría

Figura 10.

Sistemas de colocación de paneles solares fijos. Eje con orientación sur



Nota. Figura de sistema de colocación de paneles solares. Obtenido de Eres medio Ambiente (s.f.). Colocación de paneles solares. (<https://eresmedioambiente.com/colocacion-de-paneles-solares/>), consultado el 5 de marzo de 2023. De dominio público.

$$d_1 = l * \text{Cos}(\beta)$$

$$h = l * \text{Sen}(\beta)$$

$$d_2 = \frac{l * \text{Sen}(\beta)}{\text{tang}(61^\circ - \text{latitud})}$$

$$d = \frac{l * \text{Sen}(\beta)}{\text{tang}(61^\circ - \text{latitud})} + l * \text{Cos}(\beta)$$

Donde:

d : es la distancia de proyección horizontal del primer panel a el inicio del segundo panel

l : es el largo del panel

β : es el ángulo de inclinación del panel

6.3.7. Cálculo de regulador

Se determina cuál es la corriente máxima que debe soportar su entrada y salida.

Para calcular la corriente de entrada del regulador, la corriente de cortocircuito del módulo se multiplica por el número de ramas

$$I_{entrada} = 1.25 \cdot I_{MOD,SC} \cdot N_P$$

Donde:

$I_{MOD,SC}$ es la corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito. La corriente de cortocircuito se utiliza para calcular la corriente de entrada del regulador, ya que es la corriente máxima que puede producir el módulo fotovoltaico, debemos tener en cuenta esta corriente para evitar pérdidas de rendimiento.

Número de ramal paralelo N_P .

1,25 es un factor de seguridad contra daños ocasionales al regulador.

Para calcular la corriente de salida, se debe considerar la potencia de la carga de CC y la carga de CA.

$$I_{salida} = \frac{1.25 \cdot (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{n_{inv}})}{V_{bat}}$$

“Siendo, (PDC), potencia de las cargas en continua. (PAC), potencia de las cargas en alterna. (η_{inv}), rendimiento del inversor, en torno a 90-95%” (Alonso, 2015. Párr. 15).

6.3.8. Cálculo de inversor

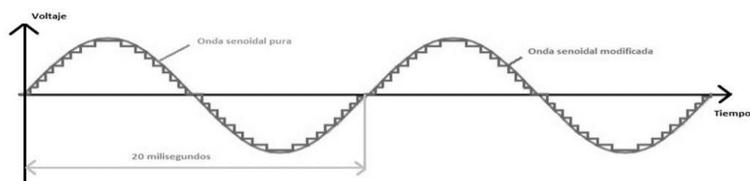
Para el cálculo del inversor se deben de tomar en cuenta la suma de las potencias de las cargas en corriente alterna.

$$P_{inv} = 1.2 \cdot P_{ac}$$

Para el cálculo de los inversores hay que tener en cuenta las cargas con picos de arranque porque requieren más potencia de la nominal para arrancar, en ocasiones hasta 4 o 5 veces la potencia nominal esperada. También se debe considerar que existen dos tipos de inversores en el mercado, uno es un inversor de onda sinusoidal pura y el otro es un inversor de onda sinusoidal modificada. Se puede utilizar una onda sinusoidal pura siempre que sea posible.

Figura 11.

Onda senoidal pura y onda senoidal modificada



Nota. Figura de onda senoidal pura y senoidal. fullwat. Obtenido de Eres medio Ambiente (s.f.). *Inversores.* (<http://blog.fullwat.com/inversores-que-son/>), consultado el 6 febrero, 2023. De dominio público.

6.3.9. Acometida bidireccional

Las normas para acometidas de la Empresa Eléctrica de Guatemala en el anexo IV, Titulo 5, subtítulo 5.2 establece lo siguiente:

5. 2. Cargas monofásicas entre 10 y 25 KVA: Los aspectos constructivos necesarios para suministros individuales, con cargas entre 10 y 25 KVA son los siguientes:

5.2.1. La instalación del medidor auto contenido con demanda debe ser alimentado con acceso desde la vía pública. La columna necesaria y el detalle para alimentación aérea o subterránea son mostrados en los Planos 12 y 13.

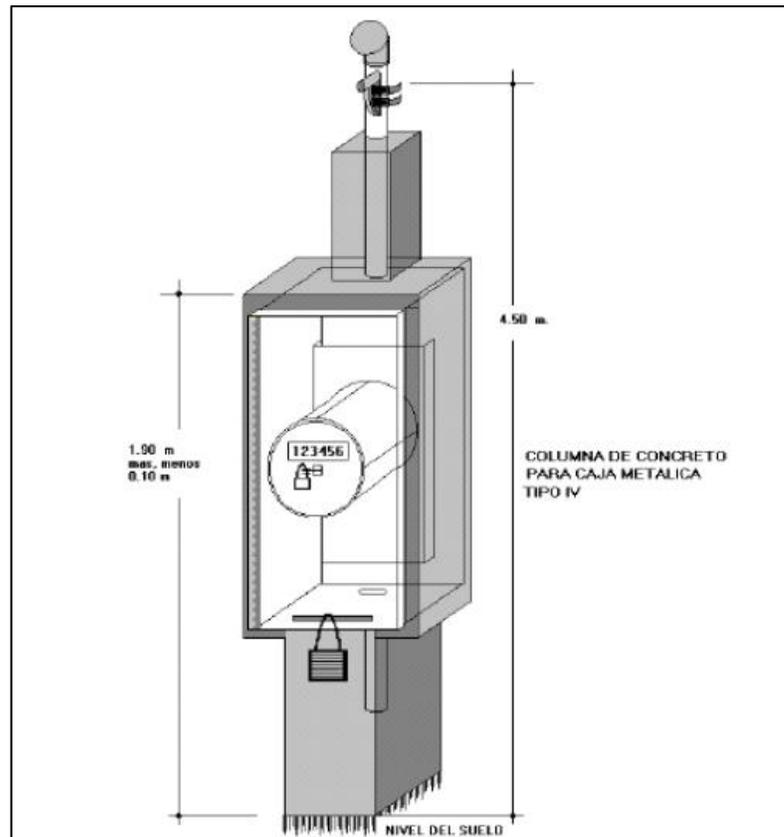
5.2.2. La altura de la caja del medidor debe ser de 1.80 ± 0.1 metros.

5.2.3. Se debe utilizar una caja socket para medidor polifásico clase 200 amperios, con caja metálica de resguardo con puerta y cerradura normalizada por Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.

5.2.4. El diámetro del tubo conduit de la acometida debe ser de 2 pulgadas. (Resolución CNEE-61-2004. p. 15-16)

Figura 12.

Columna de cometida para caja tipo 4



Nota. Figura de columna de cometida para caja tipo 4. Obtenido de Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía. Resolución Cnee-227-2014.* (<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/NORMA%20EEGSA.pdf>), consultado el 7 de marzo de 2023. De dominio público.

Capítulo IV. Las normas técnicas de usuario para la generación de energía distribuida de energía renovable y energía excedente de producción propia se estipulan a continuación:

Capítulo I. Autorización y medición neta de energía eléctrica de usuarios con excedentes de energía en el punto de consumo:

Artículo 36. Autorización para usuarios autoprodutores con excedentes de energía.

En el caso de usuarios autoprodutores que cuenten, dentro de sus instalaciones de consumo, con excedentes de energía renovable para inyectarla al sistema de distribución, pero que manifiesten expresamente que no desean participar como vendedores de energía eléctrica, deben informar al distribuidor involucrado de tal situación, por medio del formulario correspondiente. Cumplido este requisito podrán operar en esta modalidad. Estos usuarios no requerirán de autorización alguna; sin embargo, deberán instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados que garanticen que no podrán inyectar energía eléctrica al sistema de distribución ante fallas de éste o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas en las NTSD.

Artículo 37. Plazo para inspección técnica. El distribuidor luego de recibida la notificación por parte del interesado, tendrá un plazo de quince (15) días para realizar una inspección técnica de las instalaciones del UAEE con el objetivo de verificar que cumple con lo requerido en esta

Norma. Si los resultados de la inspección son positivos, el distribuidor emitirá una constancia al interesado donde conste que las instalaciones han sido revisadas, y procederá a la instalación –cuando corresponda- del medidor correspondiente, en un plazo no mayor a 28 días de recibida la notificación por parte del interesado.

Artículo 38. Informe de nuevos UAEE. El distribuidor deberá informar a la CNEE trimestralmente los nuevos UAEE conectados a su red, de conformidad con el formulario habilitado por la CNEE en su sitio web.

Artículo 39. Sistema de medición para usuarios autoprodutores con excedentes de energía.

El sistema de medición de energía eléctrica de las instalaciones de un Usuario autoprodutor con excedentes de energía, deberá tener la característica de medición, registro y lectura en forma bidireccional. En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición.

Artículo 40. Lectura y crédito por energía inyectada al sistema de distribución por parte de usuarios autoprodutores con excedentes de energía (“Net metering”).

Los usuarios autoprodutores con excedentes de energía no recibirán ningún tipo de pago por la energía eléctrica inyectada al sistema de distribución. Para efectos de la facturación mensual del usuario, el distribuidor leerá cada mes los registros del medidor correspondiente; si la medición neta del mes corresponde a un consumo de energía, cobrará dicho consumo al Usuario, de conformidad con la tarifa que le corresponda; por el contrario, si la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia el Sistema de distribución, el distribuidor se la reconocerá como crédito de energía a favor del Usuario hasta que dicho crédito sea agotado contra el consumo del UAEE.

No obstante, el distribuidor cobrará el cargo fijo y los cargos por potencia que le sean aplicables a cada usuario, según la tarifa correspondiente. Para el caso de tarifas sin medición de potencia, el distribuidor podrá cobrar los cargos por distribución correspondientes en función de la energía que entregue al usuario. Todos los cargos deben ser detallados en la factura. (Resolución CNEE-227-2014, p. 11-12)

6.4. Análisis económico de proyectos

Para determinar la viabilidad financiera y económica del proyecto, es necesario establecer algunos conceptos y métodos, los cuales se describen en esta sección.

- Análisis financiero de un proyecto: para determinar el impacto en los precios de mercado o precios financieros, para los inversionistas interesados en la ejecución, no es un estado de resultados o de pérdidas y ganancias, tampoco es efectivo como en el caso de lo propuesto por algunos autores, va más allá de eso. Se trata de determinar la rentabilidad de la inversión del proyecto, el valor presente neto para un año determinado y la rentabilidad anual de la inversión propuesta. Compara inversores con ahorradores.
- Análisis económico: identifica beneficios y costos en términos del país, la población y su impacto en la economía. La valoración económica tiene como objetivo determinar los precios económicos de los factores de producción, eliminando las distorsiones existentes en el mercado y la subvaluación o sobrevaluación de las mercancías en los mercados nacionales e internacionales.

6.4.1. Metodologías

- Algunos métodos estándar: son un conjunto de descriptores cuantitativos que representan la magnitud y relación de las variables involucradas en el proyecto, por ejemplo: inversión/empleo, ingresos generados/inversión, ingresos/inversión total, entre otros. Este enfoque es el más utilizado en el medio porque es fácilmente adaptable a la disponibilidad de información.

- Enfoques integrados: la aplicación de métodos de valoración económicos o sociales integrados requiere una clara comprensión del contexto, además de los conceptos técnicos necesarios para desarrollar modelos analíticos o adaptar los procesos de inversión y financiación desplegados en valoraciones privadas. La economía regional y nacional en su conjunto y el desarrollo socioeconómico, tecnológico y cultural sistemático son el resultado de la interacción de los tres elementos, comunidades, sectores productivos y países.

- Un sistema es un conjunto de componentes cuya interacción produce nuevas propiedades que no están presentes en los elementos que lo componen. Algunos factores muy importantes para determinar las diferentes categorías de precios, a saber:
 - Precios sombra: los precios de mercado se ajustan por un factor porque los precios de mercado no reflejan la escasez relativa de bienes, servicios y/o factores de producción, que son distorsiones debidas a condiciones de monopolio, oligopolio, impuestos, control de precios y subsidios.
 - Precios de mercado: son los utilizados para evaluar los beneficios del proyecto desde una perspectiva privada, llamados así porque son precios de mercado vigentes.

 - Transferencias: son algunas partidas de los flujos de inversión y estados de resultados que, en una valoración económica o social, no tienen efecto sobre la economía como sistema por tratarse de una amortización o transferencia de un sector a otro. (sector productivo

comunitario, estado), ej. impuestos, subsidios, intereses, créditos, aportes financieros, amortización diferida.

- Enfoque de impacto: un proyecto se realiza y opera suponiendo una serie de perturbaciones en la economía en la que opera. El *shock* se extendió por toda la economía y alteró la producción, el comercio exterior y la distribución del ingreso. Tras la primera revisión, sobre la naturaleza de las distorsiones que deberían y podrían ser consideradas, el enfoque consiste en el desarrollo de tres escenarios básicos y el análisis de estas perturbaciones en diferentes momentos y su propagación, a saber:
 - Primero análisis de los efectos generados por un aumento en la demanda de un consumo intermedio.
 - Segundo análisis de la distribución de un nuevo valor agregado.
 - Tercero análisis de los efectos generados por la utilización de un nuevo valor agregado.

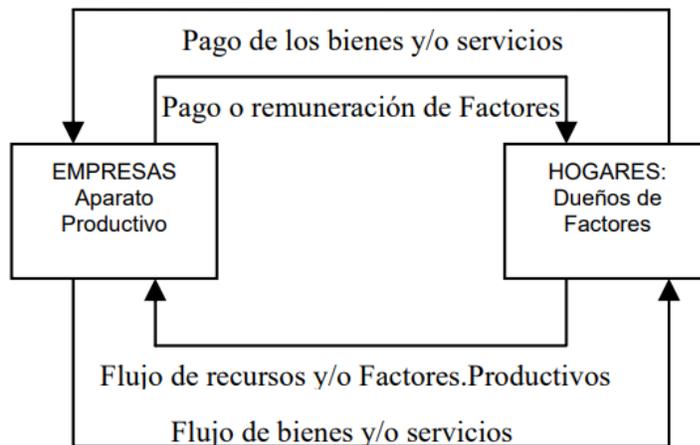
La combinación de estos tres escenarios permite explicar el conjunto de perturbaciones que el proyecto provoca en los diferentes flujos económicos de intercambio, ingreso, consumo y ahorro, (efectos directos e indirectos) el fin económico es hacer una eficiente y equitativa asignación de recursos para lograr el mayor bienestar posible.

- Eficiente, para lograr el mayor impacto posible en el bienestar;
- Equitativa, para establecer una forma de redistribución del ingreso y la riqueza que la sociedad considere justa.

Estos dos objetivos son inconsistentes y conflictivos, y es difícil lograr eficiencia y crecimiento con justicia social en la práctica. Los gobiernos que intentan hacer esto terminan en un mar de contradicciones y confusión. Algunos analistas argumentan que el crecimiento económico debe ser lo primero, seguido de la justicia social, ya que la mayor parte del camino ya está pavimentado. Para realizar la evaluación económica se debe hacer un análisis de eficiencia; y para realizar la evaluación social se debe hacer un análisis de eficiencia y equidad.

Figura 13.

Flujo circular económico.



Nota. Figura de flujo circular económico. Obtenido de Duarte y Jiménez, (2007). *Análisis económico de proyectos de inversión.* (<https://www.redalyc.org/pdf/849/84903558.pdf>) consultado el 12 de febrero de 2023. De dominio público.

6.4.2. Procedimiento para realizar la evaluación económica

Según Duarte y Jiménez (2007), para realizar la evaluación económica de proyectos, se recomiendan los siguientes pasos:

- Hacer la evaluación financiera a precios constantes del año cero.
- Discriminar cada uno de los elementos constitutivos de los flujos de caja: Ingresos, costos, gastos de operación, así:
 - Ingresos
 - Ventas nacionales
 - Ventas al exterior
 - Valores de salvamento o residuales
 - Costos y gastos de operación mano de obra
 - Calificada nacional no calificada nacional
 - Calificada extranjera no calificada extranjera
 - Materia prima e Insumo por sectores de origen nacional
 - Materia prima e insumo extranjero
 - Gastos de operación por sectores en moneda legal
 - Gastos de operación a empresas extranjeras
 - Inversiones
 - Capital de origen nacional
 - Capital de origen extranjero
 - Transferencias
 - Impuestos nacionales, departamentales y municipales
 - Amortización de créditos internos moneda nacional
 - Amortización de créditos externos moneda extranjera

- Subsidio recibido gastos financieros en moneda nacional
 - Gastos financieros en moneda extranjera
 - Depreciaciones aportes a seguridad social.
- Excluir cualquier transferencia que represente únicamente transferencias de poder de consumo entre sectores y no costos o beneficios económicos.
- Eliminación de ingresos no asociados a ningún beneficio económico o coste no asociado al sacrificio de ningún recurso.
- Incluir los beneficios económicos no registrados en los flujos financieros: ahorro de tiempo en el tránsito comunitario, ahorro en el consumo de combustible, aumento de la productividad, tiempo libre que aumenta el estrés familiar, costos de recreación y atención de accidentes, entre otros.
- Incluir costes económicos que no se registran en el flujo financiero: aumento de la contaminación del aire por emisión de gases tóxicos o partículas contaminantes, deterioro de los suministros de agua, pérdida de especies naturales, pérdida del paisaje, entre otros.
- Aplicar precios de cuenta RPC correspondientes a los diferentes elementos del flujo de caja financiero.
- Calcular los flujos de caja económicos netos.
- Aplicar los mismos criterios de eficiencia utilizados en las evaluaciones financieras, pero a un precio accesible.

- Determinar la viabilidad económica del proyecto, tomando como referencia la tasa mínima de retorno de la inversión que requiere la economía, que puede ser la productividad marginal del capital.

6.4.2.1. Criterios de evaluación

Entre los criterios de evaluación de proyectos se encuentra: la relación costo-beneficio, el criterio del valor presente neto o la tasa interna de retorno (TIR).

“Valor Actual Neto: se define como una expresión actualizada del flujo neto de un proyecto a precio cero aplicando una tasa de descuento de oportunidad” (Navarez, 2009. p. 186).

Tasa interna de Retorno: La tasa interna de retorno (TIR) es una medida financiera que se utiliza para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se define como la tasa de interés a la que el valor presente de los flujos de efectivo futuros de un proyecto de inversión iguala su inversión inicial. En otras palabras, la TIR es la tasa de rendimiento que se espera obtener de un proyecto de inversión a lo largo de su vida útil, teniendo en cuenta tanto el momento en que se realizan las entradas y salidas de efectivo como su cuantía.

La TIR se utiliza para comparar diferentes proyectos de inversión y para determinar si un proyecto es rentable o no. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada para evaluar el proyecto, entonces se considera que el proyecto es rentable. Si la TIR es menor que la tasa de descuento, entonces el proyecto no es rentable (Navarez, 2009. p. 186).

La relación beneficio-costo (B/C): es una medida financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se calcula dividiendo el valor presente de los beneficios esperados de un proyecto por el valor presente de los costos asociados al mismo.

En otras palabras, la relación B/C indica la cantidad de unidades monetarias que se espera obtener de beneficio por cada unidad monetaria invertida en el proyecto. Si la relación B/C es mayor que 1, entonces se espera que el proyecto genere más beneficios que costos, lo que indica que el proyecto es rentable. Si la relación B/C es menor que 1, entonces el proyecto no es rentable.

La relación B/C se utiliza para comparar diferentes proyectos de inversión y para determinar cuál es el más rentable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la relación B/C no tiene en cuenta factores no monetarios que también pueden ser importantes en la toma de decisiones de inversión, como el impacto ambiental o social del proyecto. Por lo tanto, se recomienda utilizar la relación B/C junto con otras herramientas de evaluación de proyectos. (Navarez, 2009. p. 186).

7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SIMBOLOS

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Fuentes de energía renovable

1.1.1. Energía solar

1.1.2. Energía eólica

1.1.3. Energía hidráulica

1.1.4. Energía de biomasa

1.1.5. Energía geotérmica

1.2. Caracterización y cálculo de cargas

1.3. Sistemas de generación Fotovoltaicos

1.3.1. Radiación Solar

1.3.2. Geometría solar

1.3.3. Elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico

1.3.4. Información necesaria para el cálculo de una instalación fotovoltaica

- 1.3.5. Cálculo de cantidad de paneles solares
- 1.3.6. Orientación de los paneles solares
- 1.3.7. Cálculo de regulador
- 1.3.8. Cálculo de inversor
- 1.3.9. Acometida bidireccional
- 1.4. Análisis económico de proyectos

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA

- 2.1. Análisis de los planos de fuerza e iluminación
- 2.2. Tablero de distribución de nivel 1
- 2.3. Tablero de distribución de nivel 2
- 2.4. Tablero de distribución de nivel 3
- 2.5. Tablero de distribución principal
- 2.6. Estimación del consumo de la instalación

3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

- 3.1. Selección del panel solar
- 3.2. Irradiación solar en la ubicación del proyecto
- 3.3. Estimación de pérdidas
- 3.4. Cálculo de la cantidad de paneles solares
- 3.5. Orientación y ubicación de los paneles solares
 - 3.1.1. Determinación del ángulo de inclinación y ángulo azimut.
 - 3.1.2. Carta solar
 - 3.1.3. Distancia mínima entre filas de módulos
 - 3.1.4. Estructura de soporte
 - 3.1.5. Dimensionamiento de inversor

- 3.1.6. Conexión de los paneles fotovoltaicos
- 3.1.8. Plano de ubicación y orientación de los paneles fotovoltaicos.
- 3.1.9. Plano unifilar del sistema de generación fotovoltaico.
- 3.1.10. Acometida bidireccional según norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedente de energía, NTGDR

4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

- 4.1. Costo estimado del sistema de generación fotovoltaico tomando en cuenta la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable.
- 4.2. Indicadores de viabilidad del proyecto
- 4.3. Análisis del beneficio social.
- 4.4. Interpretación de los resultados financieros y sociales

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

8. METODOLOGÍA

El presente capítulo se presenta el tipo de estudio, el diseño de investigación, las variables y las fases de investigación planteadas para el desarrollo del presente estudio.

8.1. Tipo de estudio

El presente estudio es del tipo cuantitativo con un alcance descriptivo debido a que se tomarán en cuenta datos ambientales conocidos como la radiación solar y horas sol pico obtenidos de mediciones históricas recopiladas por un tercero para la determinación del potencial energético solar en el área de estudio, así como cálculos matemáticos para el diseño de un sistema de generación fotovoltaico.

8.2. Diseño de investigación

Se realiza un diseño de investigación no experimental ya que el estudio se centrará en el análisis de distintas variables en un tiempo determinado de una base de datos histórica proporcionada por mediciones ya realizadas por un tercero como la radiación solar y horas sol pico en el área de estudio, así como una cuantificación de las variables eléctricas de los equipos a instalar en el edificio por medio de planos y diagramas eléctricos existentes.

8.3. Variables de estudio

En la siguiente tabla se presenta la descripción de las variables que serán evaluadas en el presente estudio.

Tabla 1.

Variables e indicadores

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicador
Tipo de Carga	La carga instalada en el edificio puede ser de carácter resistivo, inductivo o capacitivo	se evalúa según los planos eléctricos, las cargas a tomar en cuenta dentro de la instalación	Es tipo descriptivo, por ejemplo: Lampara led Lampara fluorescente, calentador de agua resistivo, estufa eléctrica inductiva etc.
Cantidades de cargas	Cosiste en la cantidad de cargas del mismo tipo que hay dentro de un circuito eléctrico	se contabiliza según los planos eléctricos que tipo y cuantas cargas del mismo tipo salen de los circuitos de los tableros de distribución	Unidad.
Potencia Eléctrica de cargas	Es la medida de Potencia eléctrica que consume una carga en una hora	La potencia eléctrica activa es medida en Watts y según el tipo de carga se toman valores de referencia promedios	Kilowatts (kW)
Tiempo	Tiempo de uso de cada carga	Se realiza una estimación del tiempo de uso de cada carga	Horas (h)
Energía	Define la energía consumida para una carga	Es una variable calculada en función de la potencia de la carga y su tiempo de uso	kWh
Factor de uso	es un factor que indica que tanto se utilizara un mismo tipo de carga simultáneamente	Es un factor adimensional	---
Horas sol pico	el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m ² sobre cada panel solar que componen de la instalación fotovoltaica.	una hora solar pico "HPS" equivale a 1Kwh/ m ² o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m ² .	kWh/ m ²

Continuación de la tabla 1.

Azimut	ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del módulo con el meridiano del lugar.	Este ángulo se define tomando en cuenta la posición en la que se pondrá el panel físicamente y su ubicación geográfica	grados
Tensión de equipos	Considera las tensiones de entrada y/o salida de los equipos que formaran parte del sistema de generación fotovoltaico	Estas son medidas en voltios y pueden ser DC o AC por su forma de onda	Voltios AC; Voltios DC
Potencia de equipos	Potencia que puede ser capaz de entregar un equipo que forme parte del sistema de generación fotovoltaico	Esta es indicada en la placa de los equipos y se mide en kW	kW
Corriente de equipos	Considera las corrientes de entrada y/o salida de los equipos que formaran parte del sistema de generación fotovoltaico	Estas son las corrientes eléctricas que son capaces de recibir o entregar los equipos, se mide en Amperios	A
Dimensione de equipos	Se refiere al tamaño físico de los equipos	Este se considera para el tema de espacio en el apartado de diseño del sistema y ubicación de equipos	Metros (m)
Precios	Precio de los equipos y trabajos a realizar para el sistema de generación fotovoltaico	Esto depende de la dimensión y fabricante de los equipos y la contrata para los trabajos de instalación	Quetzales (Q)
TMAR	Tasa mínima de retorno	Es un indicador porcentual para el análisis de la viabilidad de un proyecto	%
Relación beneficio Costo	Genera un comparativo de los ingresos y costos a valor actualizado	Es un indicador porcentual para el análisis de la viabilidad de un proyecto	%
VPN	Valor presente neto	Es un indicador para el análisis de la viabilidad de un proyecto	Q
TIR	Tasa interna de retorno	Es un indicador de rentabilidad el proyecto	%

Nota. Tabla de variables e indicadores. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

8.4. Fases de investigación

- Fase 1. Caracterización de la carga

En esta fase se realiza una caracterización de la carga que se proyecta instalar en la escuela, para ello se requiere del análisis de los planos de

iluminación y fuerza del edificio, así como una interpretación del uso en el día a día de cada una de las cargas. Durante esta fase se determinará el tipo de carga, potencia de la carga, horas de uso diario, consumo de energía diario, corriente de cada carga y factores de uso, de esta forma poder describir para la carga total del edificio completo cada una de estas variables. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de los encabezados de la tabla a utilizar para la caracterización de la carga.

Tabla 2.

Encabezado de la tabla

P1 - Tablero												
Circuito	descripción	carga por unidad [W]	Unidades	V nominal	Carga total c/c [W]	I nominal [A]	Calibre	Interruptor			Equilibrio de Fases	
								Polos	I nom. Interruptor	Factor de demanda	Demanda	ϕ_a

Nota. Tabla de la muestra del encabezado de la tabla. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

- Fase 2. Diseño del sistema de generación Fotovoltaico

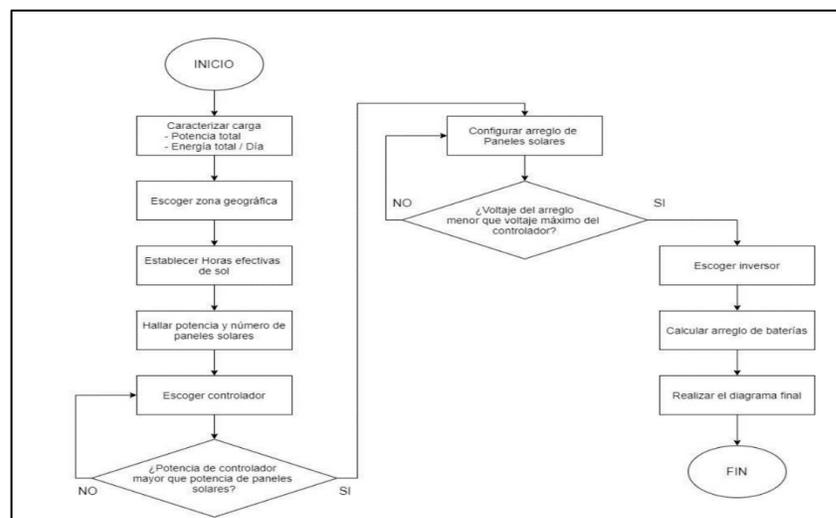
En esta fase se requiere recopilar información histórica de variables que describan el potencial energético solar en el área de estudio, como las horas solo pico y la irradiación solar, para ello se realizará uso de software gratuito y público como SWERA el cual nos proporciona esta información por mes.

Con esta información y la información obtenida en la fase 1 se procede a realizar los cálculos para la determinación de la cantidad de paneles solares requeridos para el sistema de generación fotovoltaico. Así mismo se procede a realizar los análisis y cálculos para determinar la configuración de conexión serie paralelo de los paneles y potencia requerida para los inversores. Por otro lado, se realizan los análisis y cálculos requeridos para determinar los ángulos y posiciones óptimas de los componentes del sistema de generación, para este procedimiento se planea seguir el diagrama de flujo presentado por Oscar Fuentes y Romero (2020) en su artículo: Procedimiento para el dimensionamiento de sistemas autónomos de generación de energía solar fotovoltaica.

Se hará uso de Software AutoCAD para la realización del diagrama unifilar final del diseño del sistema de generación fotovoltaico.

Figura 14.

Diagrama unifilar final del diseño



Nota. Figura del diagrama unifilar final del diseño. Elaboración propia, utilizando Visio.

- Fase 3. Análisis económico y social

Con el sistema de generación diseñado y dimensionado se procede a realizar un análisis económico para determinar la viabilidad de la implementación del proyecto. Para ello se realizarán cotizaciones de los equipos requeridos y estimación de costos de mano de obra para poder estimar el costo del proyecto.

Con esta información se procede a realizar el análisis por medio de cálculos e interpretación de indicadores tales como el VPN, TIR, B/C.

El análisis beneficio / Costo será realizará en función de los costos y el beneficio social, considerando la cantidad de personas beneficiadas por el proyecto siendo estos en general, los alumnos, maestros, y personal administrativo de la escuela.

9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo del análisis de información respectiva se utilizarán las siguientes herramientas de recolección y procesamiento de datos:

9.1. Herramientas de recolección y procesamiento de la información

La información de los equipos a instalar en el edificio será extraída de los planos de instalaciones eléctricas proporcionados por la municipalidad de Villa Canales y se plasmará en un cuadro típico de cargas en una hoja de cálculo de Excel, en la cual se procesaran los datos aplicando ecuaciones matemáticas aplicadas en la ingeniería eléctrica para obtener información como la potencia total, corriente de estado estable, dimensión de interruptor termomagnético, Demanda de cada circuito y verificar el equilibrio de fases en cada tablero de distribución.

La información para determinar el valor de radiación solar a utilizar se obtendrá a partir de datos históricos recopilados en la base de datos de *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) estos datos serán procesados aplicando una estimación de mínimos mediante la utilización de una hoja de cálculo del programa Excel.

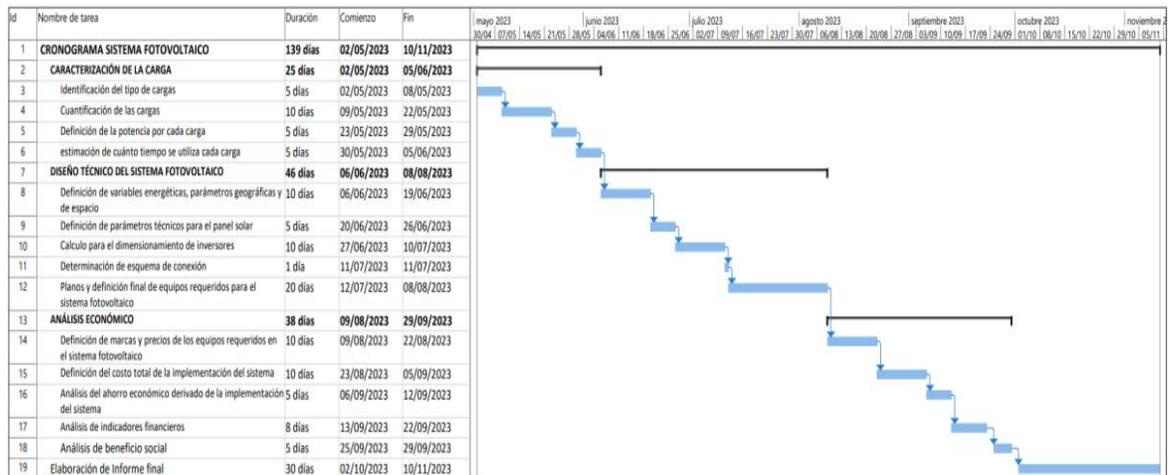
Para el análisis económico la información obtenida de las cotizaciones será plasmada en un cuadro de Excel, donde se procesarán los datos para los datos para obtener los costos totales del proyecto, así como los indicadores de VPN, TIR y B/C mediante el uso de ecuaciones de matemática financiera.

10. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta un cronograma detallado para el proyecto en cuestión, que incluye todas las actividades necesarias, las fechas de inicio y finalización, los hitos y entregables importantes para la gestión del proyecto.

Figura 15.

Cronograma de actividades



Nota. Tabla de cronograma de actividades. Elaboración propia, realizado con Project.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO Y RECURSOS NECESARIOS

Este apartado presenta la factibilidad que tiene el estudio para su implementación describiendo la fuente de los recursos a utilizar y la forma en la que estos serán obtenidos.

- Para la realización del estudio la municipalidad de Villa Canales entregará los planos de iluminación y fuerza del edificio, así como el plano acotado y amueblado.
- Para la determinación del potencial energético solar en el área se realizará uso de software en línea Gratuito (SWERA)
- Para la realización de diagramas eléctricos se utilizará una licencia de estudiante de AutoCAD.

A continuación, se presenta una tabla con los detalles de los gastos que se proyectan para la realización del estudio.

Tabla 3.

Presupuesto de la investigación

Actividad	Gasto
Transporte para tres <i>visitas</i> a campo	Q800
Viáticos	Q1600
Total	Q2400

Nota. Tabla del presupuesto de la investigación. Elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Debido que los gastos estimados son bajos, estos serán sufragados por el estudiante que realiza el estudio.

REFERENCIAS

Aerogenerador - enel green power <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador>

Aerogeneradores: partes, materiales y funcionamiento | total <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/aerogeneradores-partes-y-funcionamiento>

Agua almacenada se deja caer, convirtiendo así la energía potencial en energía cinética. El agua que cae mueve una turbina que est...Central geotérmica - enel green power <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-geotermica/central-geotermica>

Alonso, J. (2021). Fundamentos energía solar y fotovoltaica <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

Campero, E. (2006). Instalaciones eléctricas, conceptos básicos y diseño. 2da edición México: alfaomega- neagu bratu & eduardo campero https://www.academia.edu/39725236/instalaciones_el%C3%A9ctricas_2da_edici%C3%B3n_neagu_bratu_and_eduardo_campero

Comisión nacional de energía eléctrica. (2014). Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía. Resolución cnee-227-2014.

Consumo responde. Artículo

https://www.consumoresponde.es/art%c3%adculos/las_energias_renovables_caracteristicas_y_tipos

Duarte, A., y Jiménez, S. (2007). Análisis económico de proyectos de inversión.

<https://www.redalyc.org/pdf/849/84903558.pdf>

Fuentes A., y Romero, E. (2020). Procedimiento para el dimensionamiento de sistemas autónomos de generación de energía solar fotovoltaica.

Documentos de trabajo ecbti, 1(1). <https://doi.org/10.22490/ecbti.4085>

Iberdrola (2022). Qué es la energía hidroeléctrica.

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-hidroelectrica>

Jiménez, S. (2019). ¿qué es y cómo se calculan el ángulo de acimut y el ángulo de inclinación en las instalaciones solares fotovoltaicas?:

<http://aprendecienciaytecnologia.com/2019/12/03/que-es-y-como-se-calculan-el-angulo-de-acimut-y-el-angulo-de-inclinacion-en-las-instalaciones-solares-fotovoltaicas/> 03/12/2019https

John, C. (2021). ¿Qué es un aerogenerador? <https://g2wind.com/que-es-un-aerogenerador/>

Kralj, M. (2018). Energía en escuelas: consumos y potenciales ahorros.

Universidad de buenos aires.

La importancia de las energías renovables | acciona

<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>

Montañez, J., Vargas, J., Trujillo, E., y Suárez, S. (2019). Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela campo 45 del corregimiento centro de la ciudad de barrancabermeja. *Agricolae habitat*, 1–11.

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/agricolae/article/download/2785/3239?inline=1>

Qué es la energía cinética del agua o hidráulica.

<https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-energia-cinetica-del-agua-1662.html>

Rafael, S., y Garciglia, S. Revista divulgación. Paneles solares: generadores de energía eléctrica. <https://saberamas.umich.mx/archivo/tecnologia/133-numero-1755/268-paneles-solares-generadores-de-energia-electrica.html>
14 mar 2023

Universidad ambiental de la palma cursos de verano 2007 en los llanos de Aridane. Benaoharita, calle las Adelfas, las energías renovables: una apuesta de futuro en las islas Francisco Jarabo Friedrich, 2007 ingeniería Química de la universidad de La Laguna. De la Ull. Horario: de las 9,30 horas a las 13,30 horas. Lugar: salón de actos museo arqueológico Benaoharita, los Llanos de Aridane.
https://fjarabo.webs.ull.es/cv/4_documentos%20elaborados/cursos/2007-%20-%20universidad%20ambiental%20de%20la%20palma%20-%20resumen.pdf

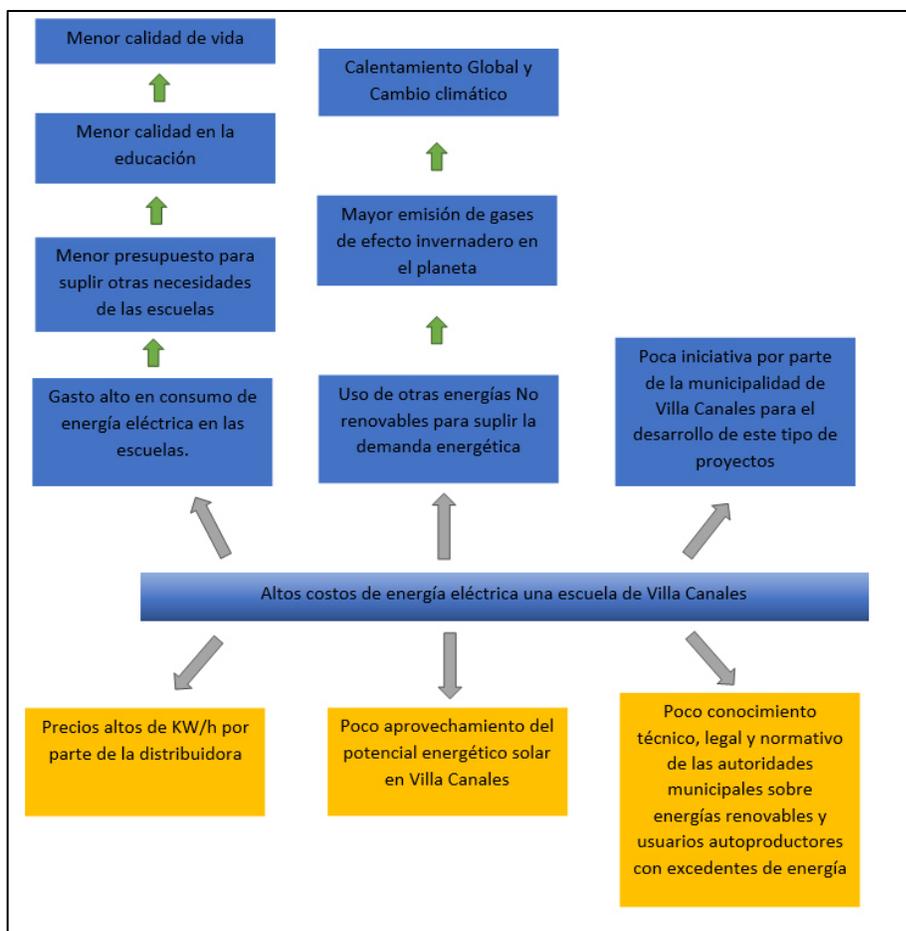
Vargas, G., Gil, S., Díaz, J., y Otálora, I. (2019). Aprovechamiento de la energía solar para el área académica de la escuela de aviación policial mediante un sistema fotovoltaico con conexión a red. Revista logos ciencia & tecnología, 11(2), 46-59. <http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v11i2.446>

Yubasolar (2019). Conceptos fundamentales sobre energía solar fotovoltaica - radiación solar. <http://www.yubasolar.net/2019/05/conceptos-fundamentales-sobre-energia.html> jueves, 30 de mayo de 2019

APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol de problemas



Nota. Figura de árbol de problemas. Elaboración propia, utilizando Visio.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

Planteamiento del problema	Objetivos	Variables	Diseño Metodológico
<p>Pregunta Principal: ¿Cuál es la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema fotovoltaico que permita el suministro de energía eléctrica de una escuela del municipio de Villa Canales?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema fotovoltaico que permita el suministro de energía eléctrica en una escuela del municipio de Villa Canales del departamento de Guatemala.</p>	<p>Caracterización de la carga</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tipo de carga instalada (Descriptivo) -Cantidades de equipos instalados (Cuantitativo) -Potencia de consumo de cada equipo (kW) -Tiempo de uso de cada equipo (Horas) <p>Diseño técnico</p>	<p>Metodología</p> <ul style="list-style-type: none"> -Análisis de la carga a instalar en el edificio para determinar la estimación del consumo de energía eléctrica (con planos Eléctricos, hoja de cálculo Excel) -Diagrama de flujo de proceso para dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (Hoja de Cálculo Excel, Software SWERA, AutoCad) -Cotizaciones para el análisis económico. (Hoja de Cálculo Excel) <p>Instrumento:</p> <ul style="list-style-type: none"> -programa en línea para la estimación de las variables de potencial solar y soleamiento (SWERA) - AutoCad -Hojas de cálculo para los análisis
<p>Preguntas específicas:</p> <p>¿Cuál es el consumo de energía eléctrica proyectado de la escuela de Villa Canales?</p> <p>¿Cuál es el diseño técnico del sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de la escuela de Villa Canales?</p> <p>¿Cuál es el ahorro económico y beneficio social obtenido a partir de la implementación de un sistema fotovoltaico en la escuela de Villa Canales?</p>	<p>Objetivos Específicos:</p> <p>Estimar el consumo de energía eléctrica proyectado de la escuela ubicada en el municipio de Villa Canales.</p> <p>Proponer el diseño técnico de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía eléctrica de la escuela en el municipio de Villa Canales.</p> <p>Analizar la viabilidad económica y beneficio social para la implementación de un sistema fotovoltaico en la escuela ubicada en el municipio de Villa Canales.</p>	<p>Radiación solar (kWh/m²)</p> <ul style="list-style-type: none"> -ángulos de inclinación y Azimut (grados) -Horas Sol Pico (horas) -datos técnicos de equipos: <ul style="list-style-type: none"> - Tensión (Voltios) - Corriente (Amperios) - Potencia (Watts) - Dimensiones (metros) <p>análisis económico</p> <ul style="list-style-type: none"> -Precio de equipos a Utilizar (Quetzales) - Precio de mano de obra (Quetzales) -Precio de la energía eléctrica (Q/kWh) Indicadores TIR, VAN, B/C (%), Q, % 	

Nota. Tabla de matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.