



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BAJO
COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS QUE PERMITA ESTIMAR LA POTENCIA DE
RADIACIÓN SOLAR EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**

Leonardo Esaú Tzián Canú

Asesorado por la M. Sc. Inga. Ismelda Isabel López Tohom

Guatemala, enero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BAJO
COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS QUE PERMITA ESTIMAR LA POTENCIA DE
RADIACIÓN SOLAR EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LEONARDO ESAÚ TZIÁN CANÚ
ASESORADO POR LA MSC. INGA. ISMELDA ISABEL LÓPEZ TOHOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2024

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 | Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente |
| VOCAL V | Ing. Fernando José Paz González |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. José Guillermo Bedoya Barrios |
| EXAMINADOR | Ing. Saúl Cabezas Durán |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

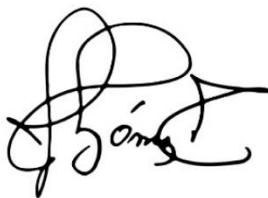
Decanato
Facultad e Ingeniería
24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.60.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BAJO COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS QUE PERMITA ESTIMAR LA POTENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**, presentado por: **Leonardo Esau Tzian Canu** 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: 28/01/2024 11:15:29
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.



Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, enero de 2024

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: 2024 Correlativo: 60 CUI: 2534092410407

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (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

EEP-EIME-1583-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingeniería 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 LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BAJO COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS QUE PERMITA ESTIMAR LA POTENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Leonardo Esaú Tzián**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



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

Guatemala, octubre de 2023



EEPFI-PP-1767-2023

Guatemala, 21 de octubre de 2023

Director

Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Mtro. 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 LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BAJO COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS QUE PERMITA ESTIMAR LA POTENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Eficiencia energética en el sector público, empresarial y domiciliar**, presentado por el estudiante **Leonardo Esaú Tzíán** carné número , 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 Gestión De Mercados Electricos Regulados.

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

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtra. Isabella Isabel López Tohom
Inga. Isabel López Tohom
Asesor(a)
Col. 5943

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

Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



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 LA INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE BAJO COSTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS QUE PERMITA ESTIMAR LA POTENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN PATZÚN, CHIMALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de agosto de 2023.



Leonardo Esaú Tzián Canú

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi fortaleza en cada etapa de mi vida.

Mis padres

Leonardo Tzián por su dedicación, por inculcarme valores y su comprensión. María Canú Batzín por ser mi ejemplo, fuerza de apoyo y amor incondicional.

Mi hermana

Por ser mi apoyo y soporte incondicional.

Mis abuelos

Jesús Tzián (q. e. p. d.), Mercedes Guantá (q. e. p. d.), Faustino Canú y Candelaria Batzín por sus enseñanzas y consejos que me han acompañado a lo largo de mi vida.

Mis amigos

De Instituto Técnico Industrial Georg Kerschensteiner y amigos de la facultad de ingeniería porque el camino hacia esta meta no hubiera sido el mismo sin las vivencias que nos han acompañado.

Ingeniero

Francisco Gonzales por su amistad y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser mi <i>alma mater</i> , por brindarme el conocimiento y la virtud de perseverancia. |
| Mis amigos | Por su apoyo incondicional. |
| Ingenieros | Por ser una inspiración para ser un profesional con ética. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 5 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| 3.1. Contexto general | 9 |
| 3.2. Descripción del problema | 10 |
| 3.3. Formulación del problema | 10 |
| 3.3.1. Pregunta central | 10 |
| 3.3.2. Preguntas auxiliares | 10 |
| 3.4. Delimitación del problema | 11 |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 13 |
| 5. OBJETIVOS | 17 |
| 5.1. General..... | 17 |
| 5.2. Específicos | 17 |
| 6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN..... | 19 |
| 7. MARCO TEÓRICO..... | 23 |
| 7.1. Radiación solar..... | 23 |
| 7.1.1. El sol..... | 23 |

| | | |
|----------|---|----|
| 7.1.2. | Irradiación solar..... | 24 |
| 7.1.3. | Geometría solar..... | 24 |
| 7.1.3.1. | Ángulo de incidencia | 24 |
| 7.1.3.2. | Ángulo cenital..... | 26 |
| 7.1.3.3. | Ángulo acimut..... | 27 |
| 7.1.4. | Factores ambientales que afectan la irradiación solar | 28 |
| 7.1.4.1. | Atenuación atmosférica | 28 |
| 7.1.4.2. | Masa de aire..... | 29 |
| 7.2. | Potencial fotovoltaico | 30 |
| 7.2.1. | Descripción de potencial fotovoltaico | 31 |
| 7.2.2. | Arquitectura de una estructura solar interconectada a la red | 31 |
| 7.2.2.1. | Panel fotovoltaico | 32 |
| 7.2.2.2. | Conversores DC-DC | 32 |
| 7.2.2.3. | Inversores..... | 33 |
| 7.2.2.4. | Contexto actual de la infraestructura para la generación de energía a través de la luz del sol..... | 33 |
| 7.2.3. | Efectos de la temperatura ambiental..... | 34 |
| 7.2.4. | Potencia de salida de sistema fotovoltaico..... | 35 |
| 7.2.4.1. | Eficiencia fotovoltaica..... | 35 |
| 7.2.4.2. | Celda solar monocristalina | 35 |
| 8. | MARCO CONCEPTUAL | 37 |
| 8.1. | Datos de radiación solar..... | 37 |
| 8.2. | Usuario auto productor con excedentes de energía..... | 38 |
| 9. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS | 41 |

| | | |
|---------|---|----|
| 10. | METODOLOGÍA..... | 45 |
| 10.1. | Características del estudio | 45 |
| 10.2. | Unidades de análisis | 46 |
| 10.3. | Variables..... | 46 |
| 10.4. | Fases de estudio | 48 |
| 10.4.1. | Fase 1: revisión de literatura..... | 49 |
| 10.4.2. | Fase 2: recolección de la información | 49 |
| 10.4.3. | Fase 3: análisis de información | 50 |
| 10.4.4. | Fase 4: interpretación de información..... | 51 |
| 11. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN | 53 |
| 11.1. | Método de recolección de datos..... | 53 |
| 11.2. | Análisis estadístico | 54 |
| 11.3. | Potencial fotovoltaico..... | 55 |
| 11.4. | Análisis e interpretación de resultados | 56 |
| 12. | CRONOGRAMA..... | 57 |
| 13. | FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO | 59 |
| | REFERENCIAS | 61 |
| | DOCUMENTOS DEL ASESOR | 65 |
| | APÉNDICES | 71 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1. | Ángulo de incidencia sobre la horizontal..... | 25 |
| Figura 2. | Ángulo de incidencia sobre la vertical | 25 |
| Figura 3. | Ángulo de incidencia sobre una superficie inclinada | 26 |
| Figura 4. | Definición de los ángulos de posición solar | 27 |
| Figura 5. | Definición de los ángulos de posición solar | 27 |
| Figura 6. | Expresión matemática para el trayecto de la radiación | 29 |
| Figura 7. | Longitud de la trayectoria atmosférica D de la energía proveniente del sol..... | 30 |
| Figura 8. | Tecnología solar enlazada a la red | 31 |

TABLAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabla 1. | Variables en estudio | 46 |
| Tabla 2. | Cronograma para la ejecución de investigación | 57 |
| Tabla 3. | Recursos necesarios | 59 |

1. INTRODUCCIÓN

La realización del presente estudio propone un método en el cual se determina el potencial fotovoltaico del casco urbano de Patzún Chimaltenango mediante el análisis estadístico de una base de datos de radiación solar de libre acceso, este trabajo propone una herramienta metodológica para el establecimiento del perfil energético de un lugar e incentivar el aprovechamiento de las energías renovables a nivel domiciliar.

Para la determinación del potencial fotovoltaico de Patzún Chimaltenango es necesario conocer los valores de irradiación solar promedio mensual y anual incidente, dicha información no se encuentra disponible para su consulta por parte de instituciones gubernamentales guatemaltecas. Existen varias maneras para recolectar información climatológica que sea relevante para el perfilamiento energético de un lugar, una de ellas es instalar un instrumento de medición de radiación solar, el cual ofrece precisión y confiabilidad en sus mediciones, pero representa un alto costo financiero y además requiere conocimiento técnico especializado para su instalación. La construcción de un instrumento de medición de irradiación solar de bajo costo podría ser una alternativa, pero para que el mismo se considere confiable se requiere calibrarlo, lo cual se escapa de los alcances de este estudio y el mismo debe tener un diseño que soporte las inclemencias del tiempo durante largos periodos de tiempo en los cuales se realice la medición.

Se pretende ensayar una solución la cual propone un método de análisis estadístico de una base de datos de irradiación solar incidente en Patzún Chimaltenango la cual es de libre acceso y georreferenciada para estimar el valor

promedio mensual y anual de cada año de registro. Considerando la base de datos de irradiación solar se calculará el potencial fotovoltaico el cual es una representación de los kW que es capaz de producir un sistema fotovoltaico conectado a la red sin baterías.

En el primer capítulo se presenta el marco referencial para la propuesta de un sistema de bajo costo para la obtención de datos que permita estimar la potencia de radiación solar en Patzún Chimaltenango, la relevancia del estudio planteado radica en el perfilamiento energético de un lugar sin la necesidad de utilizar instrumentos de medición, se ha consultado artículos científicos, tesis de maestría, revistas científicas acerca del tema para establecer un fundamento teórico que le permita al investigador conocer que se ha escrito acerca del tema e identificar vacíos de conocimiento en los cuales el presente trabajo de investigación pueda realizar un aporte.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico, el cual es un apartado donde se recopila toda la información que sustenta el trabajo de investigación. El enfoque teórico de este apartado está basado en las dos variables principales del trabajo de investigación, la irradiación solar y el potencial fotovoltaico. De cada variable principal se derivan definiciones, conceptos clave, metodologías de cálculo, ecuaciones que ayudan al investigador a comprender el fenómeno estudiado y alcanzar los objetivos del estudio.

La presentación de resultados obtenidos se realizará en el capítulo tercero, se visualizará los resultados obtenidos conforme a cada uno de los objetivos específicos planteados. Se presentará de manera cronológica la base de datos de irradiación solar georreferenciada para la zona 1 de Patzún Chimaltenango, se presentará el valor de la irradiación solar promedio mensual y anual para cada año del registro, resultado de un análisis estadístico. Por

último, se presentará el resultado del cálculo del potencial fotovoltaico correspondiente para el registro de datos para una casa de tamaño promedio del municipio antes mencionado.

Por último, en el capítulo cuarto se detalla la discusión de resultados obtenidos en la cual se responderá a las preguntas del planteamiento del problema. Se procederá a responder cada una de las preguntas relacionadas a los objetivos específicos desde la primera hasta la tercera y en base a los resultados observados por último responder la pregunta que se plantea con el objetivo general. Finalmente se procederá a argumentar si se ha resuelto la problemática planteada.

2. ANTECEDENTES

En los últimos años ha habido un creciente interés en la medición de las variables climatológicas con el objetivo de prevenir desastres naturales, así como también determinar cómo se interrelacionan entre ellas. La medición de las variables climatológicas ha encontrado otro enfoque el cual ha sido investigar el potencial energético renovable de una región determinada, dicho estudio tiene el propósito de diversificar la matriz energética. En países desarrollados el acceso a la información climatológica es libre y fácil, para Guatemala por parte de instituciones privadas o gubernamentales públicas, dichos datos son muy generales, ambiguos o inexistentes.

Los instrumentos utilizados para la medición de variables climatológicas son muy caros debido a su alto grado de precisión, así como también como su resistencia climas extremos, por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar métodos alternativos de bajo costo para la medición de radiación solar, en el desarrollo de estos últimos se encuentra la dificultad de calibración y construcción del instrumento de adquisición de datos, por ende, se requiere una metodología que garantice la obtención de datos provenientes de fuentes confiables. A continuación, se mencionan algunas investigaciones que brindan soporte al estudio planteado el cual plantea la posibilidad de emplear bases de datos con información de radiación solar para realizar el perfilamiento energético de un lugar.

Un ejemplo de los avances en el desarrollo de soluciones se presenta en el estudio *Reliable and Inexpensive Solar Irradiance Measurement System Design* realizado por Orsetti *et. al.* (2016). En este estudio se propone un método

para medir la potencia de radiación solar utilizando celdas fotovoltaicas conectadas en serie. El sistema incluye un seguidor solar, sensores de temperatura y varias fotorresistencias; el uso conjunto de estos elementos optimiza la captación de radiación solar. Los resultados obtenidos muestran una alta precisión, con un error muy pequeño entre los valores del modelo desarrollado y los de una estación meteorológica.

Para comprender la importancia del estudio de una base de datos de radiación solar geo referenciada se revisa *PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe* un estudio realizado por Šúri, Huld & Dunlop (2005) donde se presenta la metodología para generar una base de datos de radiación solar para el cálculo de potencial de energía fotovoltaica en Europa. La metodología utilizada se basa en el uso del modelo de radiación solar r.sun dentro GRASS GIS el cual es un software de gestión de datos geoespaciales, dicho modelo utiliza parámetros de entrada. Además, a la base de datos se encuentran enlazadas tres plataformas en línea que permiten a los investigadores visualizar información concerniente a la energía del sol incidente, crear representaciones de la energía en un día simulado y estimar la producción de flujo eléctrico. El estudio proporciona una herramienta de planificación y diseño de estructuras energéticas alimentadas por el sol en Europa. Algunas de las adversidades que afronta el estudio es la optimización para la determinación de un valor que de la radiación difusa válida solamente para Europa.

Un estudio que destaca la relevancia de las condiciones climáticas en la determinación del potencial energético es *Performance of data acquisition system for monitoring PV system parameters* realizado por Rezk *et. al.* (2017). En la mencionada recopilación de información, se propone una serie de pasos para determinar la potencia en un área en un periodo de tiempo por medio de la

medición experimental de la corriente de polos opuesto de un conjunto de celdas que captan la energía del sol. La corriente de cortocircuito de un panel fotovoltaico es la corriente en caso de voltaje cero a lo largo del panel. El sistema utilizado consta de un conjunto de 35 celdas solares de silicio multicristalino conectadas en serie, una tarjeta de adquisición de datos USB-6009 de National Instruments y el procesamiento de datos en LabVIEW. El estudio demuestra que la eficiencia de una celda fotovoltaica se ve fuertemente afectada por la temperatura ambiental. Esta afirmación se refleja en el comportamiento de tres gráficas de datos obtenidos de realizar mediciones en Moscú, Rusia, que comparan la radiación solar calculada con la corriente de cortocircuito medida bajo tres condiciones climáticas diferentes. En un clima despejado en Moscú, se observa un error mínimo entre las variables durante el mediodía y parte de la tarde. En un clima nublado claro en Moscú, la diferencia entre las variables es más notable, mientras que, en un clima nublado variable en Moscú, el error entre las variables es considerable.

El artículo académico *A web service for controlling the quality of measurements of global solar irradiation* realizado por Geiger *et. al.* (2002) tiene como objetivo establecer una metodología para controlar la calidad de las mediciones de radiación solar mediante la implementación de un servicio web. En este servicio, los usuarios tienen la opción de cargar un conjunto de datos en la plataforma web, los cuales son analizados para detectar datos inválidos, valores máximos y mínimos de suma diaria de radiación solar. A lo largo del estudio académico, se explican detalladamente los procedimientos estadísticos y georreferenciales implementados para determinar la confiabilidad de los datos. Además, se proporciona un ejemplo del análisis de un conjunto de datos y se interpreta las inconsistencias en los datos a través de señales proporcionadas por el programa de la plataforma web.

El presente estudio *Comparison of different methods for measuring solar irradiation data* desarrollado por Geuder *et. al.* (2003) propone la mejora de mediciones de datos meteorológicos a través de la instalación de una segunda estación meteorológica con las mismas características a la ya instaladas, con el uso de estas mediciones se es capaz de encontrar funciones de corrección para las estaciones meteorológicas existentes así como también usar dichos datos para el ajuste y validación de datos de satélite. La metodología a utilizar para llevar a cabo el estudio propuesto es el uso de diferentes tipos de sensores. Al final del estudio se asevera que los mapas de irradiación solar generados por satélites pueden ser una herramienta para respaldar los datos de los instrumentos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El minado de datos atmosféricos es un procedimiento que se ha realizado por países desarrollados desde hace varias décadas, desde la instalación de estaciones meteorológicas en tierra, hasta la conquista del espacio con la implementación de sensores de variables climatológicas en satelitales. Con el avance de la electrónica y el surgimiento de la computación se ha mejorado la precisión de los instrumentos de medición, y consecuentemente la calidad de los datos. El libre acceso a los datos atmosféricos por medio de librerías digitales se ha liberalizado en los últimos años y la interpretación de los mismos es un elemento sujeto a estudio.

3.1. Contexto general

Se desea analizar los datos de potencia de radiación solar incidentes sobre el casco urbano de Patzún Chimaltenango que permita estimar cuál es la capacidad de generación de energía a través de un sistema fotovoltaico. La institución gubernamental guatemalteca encargada de las mediciones climatológicas ofrece escasos datos georreferenciados. Al momento solo se conocen equipos muy especializados que miden un amplio espectro de radiación pero que a la vez no son de interés para este estudio y que forman parte de estaciones meteorológicas de alto costo financiero, por lo cual se desea establecer una metodología para la obtención de un registro histórico de datos que sea representativo de la potencia de radiación solar incidente sobre el casco urbano de Patzún, Chimaltenango.

3.2. Descripción del problema

Se requiere diseñar un procedimiento de adquisición de datos sin la necesidad de instrumentos de medición meteorológicos operados en tierra que permita estimar una base de registros históricos del índice de radiación solar promedio incidente a lo largo del año para determinar la capacidad de generación de energía a través de paneles fotovoltaicos en Patzún Chimaltenango.

3.3. Formulación del problema

Lo anteriormente descrito dio como resultado una interrogante principal:

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es el procedimiento apropiado para estimar el potencial fotovoltaico de Patzún Chimaltenango por medio de registros históricos de radiación solar incidente a lo largo de los años?

El complemento que requerirá la interrogante principal contempla las siguientes preguntas auxiliares.

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál podría ser una fuente de registros históricos confiables para obtener datos meteorológicos?
- ¿Cuánta es la irradiación solar incidente promedio mensual y anual en el casco urbano de Patzún, Chimaltenango?

- ¿Cuál es el potencial fotovoltaico de una casa con tamaño promedio en el casco urbano de Patzún Chimaltenango?

3.4. Delimitación del problema

- Delimitación espacial: la ubicación geográfica para el desarrollo del procedimiento de obtención de datos de potencia de radiación solar es en el casco urbano de Patzún Chimaltenango.
- Delimitación temporal: el registro de datos históricos de irradiación solar está para cada hora del día, todos los días del año, durante 10 años.
- Delimitación temática: se estimará la radiación solar incidente promedio en paneles solares inclinados en el techo de una casa de tamaño promedio, dichos datos serán representativos para el mes del año en el cual se realice la estimación.
- Delimitación de la población: el estudio está enfocado para que pueda ser implementado en una casa promedio libre de sombras de árboles o estructuras en el casco urbano de Patzún Chimaltenango ya que unos de los objetivos de la investigación es determinar la capacidad de generación que se podría tener en el casco urbano.
- Delimitación teórica: este estudio tiene un enfoque no experimental ya que se recopilan y estudian los datos.
- Delimitación metodológica: el enfoque de la investigación es mixta ya que intervienen factores cualitativos, así como cuantitativos.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la necesidad de abordar y contribuir al conocimiento en el ámbito de la eficiencia energética y generación renovable en el contexto de Patzún Chimaltenango. A través de la exploración de diversas líneas de investigación relacionadas con la eficiencia energética, la innovación tecnológica en generación y transmisión eléctrica, y el diseño integral de proyectos eléctricos, se busca llenar un vacío de conocimiento crucial en esta área. El propósito es brindar aportes tangibles que beneficien tanto a la comunidad local como a la comunidad científica y al sector emprendedor tecnológico en Guatemala.

La eficiencia energética y la generación de energía a partir de fuentes renovables son aspectos de gran relevancia en la actualidad debido a los desafíos globales relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad energética. En este contexto, Patzún Chimaltenango enfrenta retos específicos en términos de acceso a información climatológica precisa y al potencial aprovechamiento de recursos renovables para la generación de energía.

Los aportes de este trabajo de investigación son sustanciales. En primer lugar, se aborda la carencia de un perfilamiento energético adecuado basado en datos climatológicos satelitales. Mediante la utilización de tecnologías y plataformas como The Power Project de la NASA, se busca identificar patrones de irradiación solar y otros datos climatológicos relevantes que son esenciales para la planificación de proyectos de energía renovable. Además, se establecerán límites de precisión de los datos, proporcionando información valiosa para futuras investigaciones y proyectos.

Uno de los problemas latentes en el diseño de sistemas fotovoltaicos es la adquisición de datos climatológicos precisos. Este trabajo de investigación no solo identifica este problema, sino que también propone soluciones para su superación. Al abordar la adquisición de datos climatológicos necesarios, se plantea una estrategia que podría tener un impacto significativo en la eficiencia y precisión de los diseños de sistemas fotovoltaicos en la región.

Los productos prácticos derivados de esta investigación, como la adquisición de datos de irradiación solar, son recursos tangibles que benefician directamente a múltiples sectores. Los habitantes de Patzún Chimaltenango se beneficiarán al tener acceso a información detallada sobre la radiación solar en su área, lo que permitirá la evaluación del potencial fotovoltaico y, en consecuencia, la viabilidad de proyectos de energía renovable a nivel domiciliar. Además, la comunidad científica guatemalteca podrá aprovechar los resultados de este estudio como una referencia valiosa para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la energía renovable.

Por último, este trabajo tiene una pertinencia social y académica innegable. No solo se aborda una problemática local y nacional en términos de energía y sostenibilidad, sino que también contribuye a la generación de conocimiento técnico y científico que puede influir directamente en la planificación y ejecución de proyectos energéticos renovables en Patzún Chimaltenango. En el ámbito de la maestría, este estudio se alinea con los objetivos académicos al fomentar avances científicos y técnicos en el desarrollo de proyectos energéticos sostenibles, y al mismo tiempo, tiene un impacto en el ámbito social al promover la adopción de tecnologías limpias y contribuir al desarrollo sostenible de la comunidad.

En resumen, este trabajo de investigación busca llenar un vacío de conocimiento en el campo de la eficiencia energética y generación renovable en Patzún Chimaltenango. Los aportes prácticos y teóricos derivados de este estudio tienen el potencial de beneficiar tanto a la comunidad local como a la comunidad científica y emprendedora, al mismo tiempo que contribuyen al avance del conocimiento y la aplicación práctica en el ámbito de la energía sostenible.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un procedimiento para estimar el potencial fotovoltaico por medio del análisis de un registro de datos de radiación solar incidente en Patzún Chimaltenango.

5.2. Específicos

1. Establecer una base de datos climatológicos por medio de su recopilación en la plataforma The Power Project para determinar la capacidad de generación de energía renovable de Patzún Chimaltenango.
2. Estimar la irradiación solar promedio mensual y anual por medio del análisis de un conjunto de datos para determinar la irradiación incidente sobre el techo de una casa en el casco urbano de Patzún Chimaltenango.
3. Determinar el potencial fotovoltaico, por medio de un cálculo teórico para determinar la energía que se puede producir con el espacio del techo de una casa en Patzún Chimaltenango.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Este trabajo de investigación se enfoca en abordar necesidades laborales críticas en el contexto de la generación de energía solar en Patzún, Chimaltenango. Una de las necesidades fundamentales que se busca satisfacer es el acceso a datos precisos de la potencia de radiación solar en Patzún, Chimaltenango. Este acceso es esencial para evaluar de manera precisa y confiable el potencial de generación de energía solar en esta ubicación. Proporcionar información sólida en este aspecto es crucial para que la población y profesionales del sector energético tomen decisiones informadas y estratégicas.

Otra necesidad laboral que este proyecto aborda es la creación de un protocolo integral para determinar el potencial fotovoltaico de un lugar. Este protocolo servirá como una guía práctica y metodológica que facilitará la evaluación del potencial de generación de energía solar en diferentes ubicaciones.

Para abordar estas necesidades laborales, se propone un esquema detallado de solución que consta de las siguientes etapas. La primera fase del esquema implica el análisis de la información proporcionada por la NASA a través de la plataforma The POWER Project. Esto incluye la identificación y selección de bases de datos relevantes relacionados con la radiación solar en Patzún, Chimaltenango.

Una vez identificados los datos de interés, se procede a segmentarlos y descargar las bases de datos necesarias. Este proceso garantiza que solo se

utilice la información relevante para el cálculo del potencial fotovoltaico. La limpieza de datos es una etapa crítica en la que se identifican y corrigen anormalidades o inconsistencias en los conjuntos de datos. Este paso es esencial para garantizar la precisión de las estimaciones posteriores.

A través de un análisis estadístico de los datos limpios, se estima la irradiación solar promedio mensual y anual en Patzún, Chimaltenango. Este cálculo es esencial para comprender el potencial de generación de energía solar en la región. Finalmente, se procede a calcular teóricamente el potencial fotovoltaico utilizando los datos de irradiación solar estimados y la información técnica de los paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado.

La originalidad de este proyecto radica en la propuesta de una metodología innovadora para determinar la irradiación solar sin depender de instrumentos de medición meteorológicos costosos. El enfoque basado en datos satelitales de la NASA abre nuevas posibilidades en la evaluación del potencial fotovoltaico y representa un enfoque único en la práctica profesional del ámbito de la maestría.

La pertinencia de esta investigación se justifica por la creciente importancia de las energías renovables y la necesidad de evaluar con precisión el potencial solar en diversas ubicaciones. Además, este trabajo plantea desafíos técnicos y metodológicos que son altamente relevantes en el ámbito de la maestría, promoviendo la aplicación de métodos científicos rigurosos para abordar problemas complejos en el campo de la energía solar.

La validez técnica de esta investigación se basa en la meticulosa aplicación del método científico y la atención cuidadosa a cada etapa del proceso, desde la adquisición y limpieza de datos hasta el cálculo teórico del potencial

fotovoltaico. La utilización de datos satelitales confiables y la comparación de mediciones de múltiples satélites respaldan la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

Este proyecto contribuye significativamente a la comprensión y promoción de la generación de energía solar en Patzún, Chimaltenango, y sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de las energías renovables.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Radiación solar

Es la emanación de ondas electromagnéticas del sol, que se manifiesta en forma de luz visible e invisible y calor, es esencial para sostener la vida en la tierra, siendo fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas.

7.1.1. El sol

El sol es una masa esférica de gases calientes con un diámetro de 1.39×10^9 m y aproximadamente se encuentra a una distancia de 1.5×10^{11} m de la tierra (Duffie y Beckman, 2013).

El sol es un reactor de fusión continua el cual su recipiente contenedor está constituido de gases que son retenidos por fuerzas gravitacionales. La energía emanada por el sol se estima que se origina como consecuencia de reacciones de fusión, siendo la formación de helio a través de la combinación de hidrógeno la más valiosa. Durante este proceso, la pérdida de masa en la reacción se ha transformado en energía ya que la masa del núcleo de helio es inferior que la de 4 protones (Duffie y Beckman, 2013).

La energía procreada y emanada por el sol hacia el espacio se transmite desde su interior hacia sus límites esféricos, proveniente de un núcleo con temperaturas de cientos de miles de grados. Una serie de procesos convectivos y radiactivos ocurren con una sucesiva emisión, absorción y re-radiación. El espectro de rayos x y gamma conforman la radiación en las entrañas del sol,

conforme las distancias radiales se hacen más extensas, la temperatura decae, lo que implica longitudes de onda más amplias. En aproximadamente un quinto del radio del sol se encuentra concentrado un alto porcentaje de la energía que se produce, lo que a su vez concentra dos quintas partes de la masa del astro luminoso (Duffie y Beckman, 2013).

7.1.2. Irradiación solar

Se define como la energía incidente por unidad de área en una superficie, obtenida a partir de la integración de la irradiancia durante un periodo de tiempo específico, el cual usualmente puede ser una hora o un día. Normalmente se expresa en $\text{W/m}^2/\text{día}$. (Duffie y Beckman, 2013, p.10)

7.1.3. Geometría solar

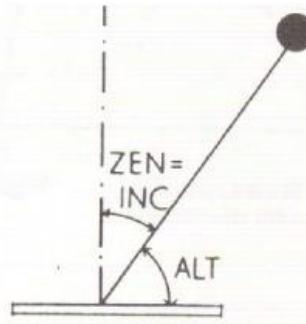
Este concepto estudia cómo la emanación de energía del astro rey interactúa con las formas y estructuras presentes en el entorno terrestre con el propósito de optimizar la captación de energía.

7.1.3.1. Ángulo de incidencia

El ángulo de incidencia (INC) de radiación solar de un plano superficie dado “se mide entre la dirección del haz y la superficie normal. Por lo tanto, para una superficie horizontal, el ángulo de incidencia es el mismo que el ángulo cenital” (Szokolay, 2007, p. 37).

Figura 1.

Ángulo de incidencia sobre la horizontal



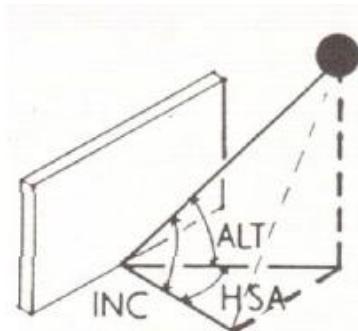
Nota. Pictograma del ángulo de incidencia sobre un plano paralelo al suelo. Obtenido de S. Szokolay (2007). *Solar Geometry*. (p. 37). PLEA.

Para una superficie vertical la regla de los cosenos aplica, ver figura 2.

$$\cos INC = \cos ALT * \cos HSA \quad (\text{Ec. 1})$$

Figura 2.

Ángulo de incidencia sobre la vertical



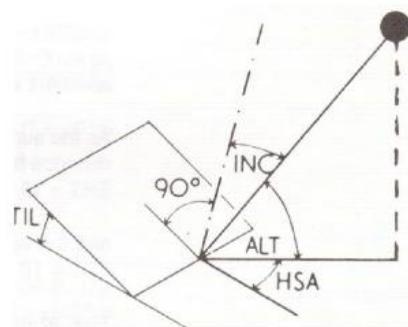
Nota. Esquemático del ángulo de incidencia en una superficie vertical. Obtenido de S. Szokolay (2007). *Solar Geometry*. (p. 37). PLEA.

Para una superficie inclinada en cualquier orientación, ver figura 3, si el ángulo de inclinación de la horizontal es TIL, una corrección se debe realizar para esa inclinación.

$$\cos INC = \sin ALT * \cos TIL + \cos ALT * \sin TIL * \cos HSA \quad (\text{Ec. 2})$$

Figura 3.

Ángulo de incidencia sobre una superficie inclinada



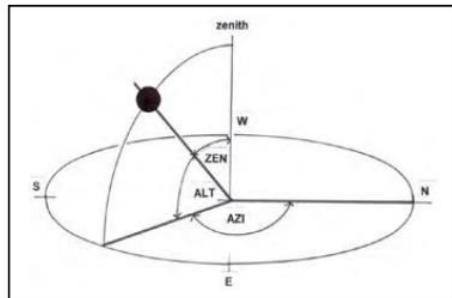
Nota. Diagrama representativo del ángulo de incidencia a través de una superficie declinada y sus ángulos complementarios. Obtenido de S. Szokolay (2007). *Solar Geometry*. (p. 37). PLEA.

7.1.3.2. Ángulo cenital

“Es el ángulo medido entre la dirección del sol y la vertical y el ángulo suplementario de altitud” (Szokolay, 2007, p.6).

Figura 4.

Definición de los ángulos de posición solar



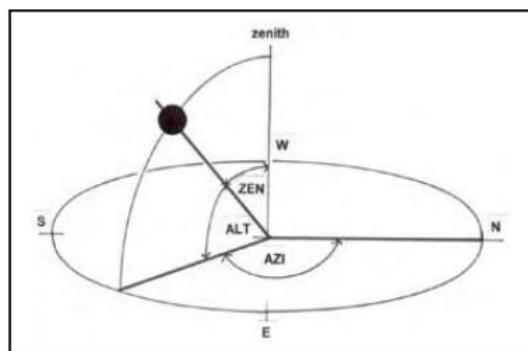
Nota. Diagrama representativo del ángulo zenital. Obtenido de S. Szokolay (2007). *Solar Geometry*. (p. 6). PLEA.

7.1.3.3. Ángulo acimut

La dirección del sol medida en el plano horizontal desde el norte a una dirección de las agujas del reloj.

Figura 5.

Definición de los ángulos de posición solar



Nota. Diagrama representativo del ángulo acimut. Obtenido de S. Szokolay (2007). *Solar Geometry*. (p. 6). PLEA.

7.1.4. Factores ambientales que afectan la irradiación solar

La cantidad de ondas solares que llegan a un lugar es influenciada por la ubicación geográfica, altitud y topografía, estaciones del año y horas de sol en el día. La presencia de nubes, humedad y contaminación del ambiente puede obstaculizar o potenciar la incidencia de energía.

7.1.4.1. Atenuación atmosférica

“Cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera de manera normal está sujeta a dos fuentes de atenuación, la dispersión y absorción” (Widén y Munkhammar, 2019).

La dispersión sucede cuando la radiación solar interactúa con las moléculas de aire, agua y polvo en la atmósfera. Es conveniente mencionar que la razón entre el lambda de la radiación y el tamaño de la partícula, la cantidad de partículas presentes en la atmósfera y la masa completa de aire que la radiación tiene que atravesar en su trayecto condicionan la dispersión. En la dispersión Rayleigh, la radiación se dispersa a través de partículas de aire. Este proceso de dispersión explica el color azul del cielo en el día, el color amarillo del sol y el enrojecimiento del cielo al entrar la noche. Se denota que una cantidad significante de la luz dispersa es redirigida de regreso al espacio (Widén y Munkhammar, 2019).

La absorción de radiación solar ocurre en el rango ultravioleta debido al ozono y en el rango infrarrojo por el agua y dióxido de carbono. En el proceso de absorción, la radiación solar se convierte en calor, la cual se emite por las partículas como radiación de onda larga (Widén y Munkhammar, 2019).

7.1.4.2. Masa de aire

La atenuación de la radiación solar depende de qué tan lejos tenga que viajar la radiación a través de la atmósfera. Cuanto más larga sea la longitud del camino de la radiación, mayor será la cantidad de partículas con las cuales tendrá que interactuar. La longitud del camino de la radiación se describe como masa de aire. La masa de aire es la relación de la masa atmosférica a través de la cual la radiación pasa desde la actual posición del Sol en el cielo, a la masa que pasaría a través si el sol estuviera en una posición directamente encima. (Widén y Munkhammar, 2019, p.18)

Figura 6.

Expresión matemática para el trayecto de la radiación

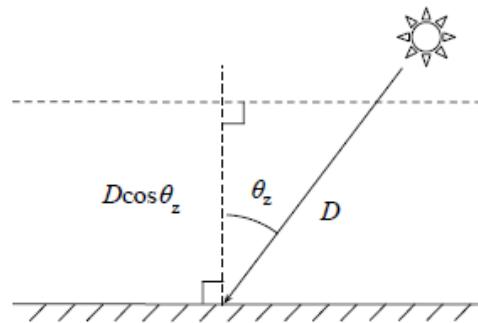
$$m = \frac{1}{\cos \theta_z}$$

Nota. Formulación matemática para el trayecto de la radiación. Obtenido de J. Widén y J. Munkhammar (2019). *Solar Radiation Theory* (p. 19.). Universidad de Uppsala.

Donde θ_z es el ángulo cenital.

Figura 7.

Longitud de la trayectoria atmosférica D de la energía proveniente del sol



Nota. Diagrama representativo de la trayectoria de la energía solar. Obtenido de J. Widén y J. Munkhammar (2019). *Solar Radiation Theory* (p. 19). Universidad de Uppsala.

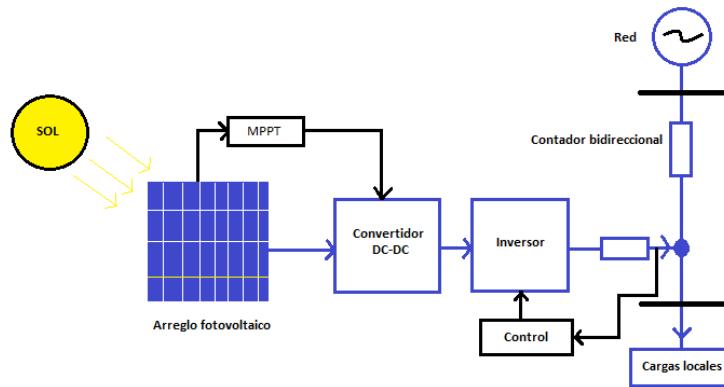
Debido a que las condiciones atmosféricas varían sobre el tiempo, se necesita un espectro estándar para la radiación al nivel del suelo para la prueba y desarrollo de dispositivos solares. Un estándar aceptado es la distribución para $m=1.5$, el espectro AM1.5, el cual corresponde a un ángulo cenital de 48.2° (Widén y Munkhammar, 2019).

7.2. Potencial fotovoltaico

El creciente interés en la generación distribuida renovable ha motivado el estudio de nuevos métodos para producción de energía en la cual el usuario final será capaz de introducir energía al sistema de potencia desde la red de distribución.

Figura 8.

Tecnología solar enlazada a la red



Nota. Diagrama esquemático de infraestructura de generación de energía a través de la luz del sol. Elaboración propia, realizado con Paint.

7.2.1. Descripción de potencial fotovoltaico

“La producción de potencia en relación a la capacidad fotovoltaica instalada de corriente continua concerniente a una infraestructura enlazada a la red sin baterías” (Government of Canada, 2020).

7.2.2. Arquitectura de una estructura solar interconectada a la red

Es de suma importancia entender las necesidades energéticas del público objetivo para elegir correctamente los elementos de los cuales estará estructurado el sistema de captación solar propuesto.

7.2.2.1. Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es una agrupación de celdas fotovoltaicas. El voltaje que se produce por una sola celda fotovoltaica es muy bajo. Para obtener valores de voltaje útiles siempre se agregan varias celdas en serie. La conexión en serie de celdas forma una unidad llamada módulo fotovoltaico. La parte frontal de un panel fotovoltaico está constituida de un vidrio bajo en hierro, ultra transparente, con características de alta transmisión, el cual protege la superficie del material fotovoltaico (Mohanty, Muneer, & Kolhe, 2016).

7.2.2.2. Conversores DC-DC

Un convertidor DC-DC se utiliza para aumentar o disminuir la salida de voltaje fotovoltaica, acorde a lo requerido. El funcionamiento de los convertidores DC-DC cumple con dos importantes tareas: integración de fuentes fotovoltaicas o renovables con la red y la detección del punto de potencia máxima en la curva corriente vs voltaje con la ayuda de algoritmo de control rastreo del punto de potencia máxima. Idealmente, los convertidores de potencia en modo interruptor tienen una eficiencia del 100 % pero en aplicaciones prácticas la eficiencia se ve reducida por los conductores y maniobras de apertura y cierre (Mohanty, Muneer, & Kolhe, 2016).

Los convertidores DC-DC se clasifican en dos categorías: convertidores aislados y convertidores no aislados. Un convertidor aislado proporciona aislamiento entre el lado de circuito de entrada y el lado de circuito de salida con la ayuda de algunas barreras eléctricas. Generalmente, los transformadores eléctricos se usan para propósitos de aislamiento. En sistemas de captación de energía solar interconectadas a la red se da prioridad a los conversores aislados por motivos de seguridad (Mohanty, Muneer, & Kolhe, 2016).

7.2.2.3. Inversores

Mohanty, Muneer, & Kolhe (2016), indican que el inversor es un elemento importante en un sistema fotovoltaico ya que es responsable de la apropiada conversión de salida de corriente directa variable de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna sinusoidal limpia con la frecuencia requerida de 50 Hz o 60 Hz. El óptimo dimensionamiento de un inversor depende de la salida de generador fotovoltaico el cual es controlado por el clima local, la inclinación y orientación de los módulos.

Para el óptimo desempeño de un sistema fotovoltaico, la capacidad nominal de un inversor debería ser más alta que la capacidad nominal del sistema en orden de prevenir la operación en condiciones de sobrecarga. La selección de un inversor depende de sus características óptimas como la eficiencia, regulación de la frecuencia, factor de corrección de potencia, confiabilidad y costo. Hay varios tipos de inversores que son usados en aplicaciones solares fotovoltaicas los cuales son: inversor de una sola etapa, inversor de dobles o múltiples etapas, inversor de multi etapas con transformador de alta frecuencia (Mohanty, Muneer, & Kolhe, 2016).

7.2.2.4. Contexto actual de la infraestructura para la generación de energía a través de la luz del sol

Una de las novedades más importantes en el ámbito tecnologías de conversión de energía solar es el incremento del desempeño en la conversión de energía, dicha mejora se traduce niveles más altos de energía con las proporciones iguales de radiación solar incidente, también una caída en el monto de inversión necesaria para la adquisición de conjuntos de celdas de captación

solar y complementos. Por último, se ha mejorado la durabilidad y confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos lo cual se traduce en tiempos de vida más largos para los paneles solares (Mirhassani *et. al.*, 2015).

Ciertos inconvenientes se presentan en la implementación de arquitecturas de conversión solar, como la oscilación del voltaje de la red provocado por la variabilidad de la energía que alcanza los sistemas de captación solar, que tiene como consecuencia el daño a equipos eléctricos en cercanías. Otro factor a considerar es que los sistemas fotovoltaicos pueden introducir distorsión armónica a la red, lo cual puede reducir la eficiencia de otros equipos eléctricos. Por último, los sistemas fotovoltaicos pueden a veces desconectarse de la red y operar independientemente, lo cual representa un peligro de seguridad al volverse una isla (Mirhassani *et. al.*, 2015).

7.2.3. Efectos de la temperatura ambiental

La generación de potencia eléctrica fotovoltaica es una tecnología prometedora en la generación de energía renovable proveniente de la irradiación solar. Por otra parte, las condiciones de operación varían la producción de energía de un sistema de celdas solares, por ende, representa un asunto sumamente desafiante la estimación precisa del potencial fotovoltaico (Kawajiri, Oozeki & Genchi, 2011).

El método de índice de energía estima el potencial fotovoltaico con la multiplicación de la irradiación solar total durante un periodo de tiempo específico por índice de rendimiento. Sin embargo, el índice de rendimiento cambia bajo diferentes condiciones de operación, especialmente la temperatura ambiental, lo cual limita la precisión de los estudios (Kawajiri, Oozeki & Genchi, 2011).

7.2.4. Potencia de salida de sistema fotovoltaico

La electricidad de salida de módulos fotovoltaicos depende de la luz solar directa que alcance su superficie, por dicha razón la producción de energía en un lugar soleado es alta y baja en condiciones nubladas o en lugares con demasiadas sombras. Bajo condiciones idénticas de luz solar y temperatura, la producción de energía de los paneles solares está directamente ligada a su eficiencia. Los paneles hechos con celdas monocristalinas tienen la potencia de salida más alta por metro cuadrado cubierto debido a su alta eficiencia, expertos en la industria los consideran la mejor opción de paneles solares para casas, especialmente si el espacio en el techo es limitado (David, 2023).

7.2.4.1. Eficiencia fotovoltaica

La eficiencia instantánea de un sistema se define como la energía producida por el sistema en relación a la cantidad de radiación incidente de una superficie fotovoltaica, dicho de otra manera, la eficiencia de los paneles fotovoltaicos es una relación que expresa cuanta de la radiación reflejada en el área de superficie total de un panel es convertida en energía eléctrica por un panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos tienen diferentes eficiencias resultado de la tecnología con la cual son producidos y semiconductor utilizado para su fabricación (Elibol *et. al.*, 2017).

7.2.4.2. Celda solar monocristalina

“Una celda solar es un dispositivo electrónico que transforma directamente la luz solar en electricidad. La luz brillando en la celda solar produce voltaje y corriente para generar potencia eléctrica” (Bagher, Vahid & Mohsen, 2015).

Las celdas solares pueden clasificarse en celdas de primera, segunda y tercera generación. Las celdas de primera generación son celdas hechas de silicio cristalino, la tecnología fotovoltaica predominante comercialmente. Las celdas de segunda generación son celdas solares de película delgada que incluyen celdas de silicio amorfo y son comercialmente importantes en estaciones de potencia fotovoltaica a escala de servicios o pequeños sistemas de potencia independiente. La tercera generación de celdas solares incluye tecnologías de película delgada, también conocidas como fotovoltaicas emergentes, la mayoría de ellas no han sido comercialmente usadas y están en etapa de investigación y desarrollo (Bagher, Vahid & Mohsen, 2015).

“El silicio monocristalino es un material absorbente de luz y fotovoltaico que se utiliza en la fabricación de celdas solares, el silicio de monocristal es quizás el material tecnológico más importante de las últimas décadas” (Bagher, Vahid & Mohsen, 2015).

8. MARCO CONCEPTUAL

8.1. Datos de radiación solar

Hay muchas formas a través de las cuales se puede representar los datos de radiación solar, las mediciones inmediatas pueden ser una de ellas, también llamada irradiancia o valores correlacionados en un periodo de tiempo, también llamado radiación. Un instante de tiempo o un periodo de tiempo puede ser la referencia temporal para las mediciones, dicho intervalo de tiempo puede ser horas o días (Duffie & Beckman, 2013).

Las mediciones pueden ser haces de radiación, radiación difusa o radiación total. La orientación de la superficie receptora de radiación puede ser horizontal, inclinación fija, o normal a la dirección del haz de radiación. La mayoría de los datos de radiación disponibles son de superficies horizontales, la cual incluye ambos tipos de radiación, la directa y la difusa, los cuales fueron medidos con piranómetros de termopila. La mayoría de los instrumentos proporcionan registros de radiación como una función del tiempo, por sí mismos, estos no proveen un significado de los registros integrados (Duffie & Beckman, 2013).

Dos tipos de radiación solar están ampliamente disponibles, el primero es el promedio mensual de la radiación total diaria en una superficie horizontal. El segundo es la radiación total horaria en una superficie horizontal, para cada hora por largos periodos de tiempo como uno o varios años (Duffie & Beckman, 2013).

Muchos servicios nacionales del clima recopilan información y crean bases de datos de año meteorológico típico, estos comúnmente contienen valores

horarios de radiación solar, temperatura ambiental, humedad, velocidad y dirección del viento y otros datos respecto a la conducta del ambiente. El propósito de esta información es la predicción de comportamiento de sistemas solares a largo plazo. Esta información es errónea para predecir el actuar de condiciones extremas o el comportamiento de sistemas eólicos (Duffie & Beckman, 2013).

8.2. Usuario auto productor con excedentes de energía

A continuación, se presentan una serie de conceptos de vital relevancia que ayudan a entender cómo la instalación de transductores de energía solar representa un beneficio para el medio ambiente y economía de su instalador.

La generación distribuida renovable es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 6).

El usuario autoproducción con excedentes de energía es el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, producida por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 7).

Respecto a cómo se realiza la cuantificación de los aportes y consumo de energía de un UAEE.

El sistema de medición de energía eléctrica de las instalaciones de un usuario autoproductor con excedentes de energía, deberá tener las características 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 (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 20).

Se menciona el procedimiento bajo el cual se remunera los aportes a la red de distribución por parte de un productor con excedentes.

Los usuarios autoproductores 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 a; 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, con liquidación trimestral. No obstante, en el caso de inyección, el distribuidor cobrará el cargo fijo y el cargo por potencia que le sean aplicables a cada usuario, según la tarifa correspondiente (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014, p. 20).

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

- 1.1. Estudios previos
- 1.2. Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Radiación solar
 - 2.1.1. El sol
 - 2.1.2. Irradiación solar
 - 2.1.3. Geometría solar
 - 2.1.3.1. Ángulo de incidencia
 - 2.1.3.2. Ángulo cenital
 - 2.1.3.3. Ángulo acimut
 - 2.1.4. Factores ambientales que afectan la radiación solar
 - 2.1.4.1. Atenuación atmosférica

- 2.1.4.2. Masa de aire
 - 2.2. Potencial fotovoltaico
 - 2.2.1. Descripción de potencial fotovoltaico
 - 2.2.2. Arquitectura de una estructura solar interconectada a la red
 - 2.2.2.1. Panel fotovoltaico
 - 2.2.2.2. Conversores DC-DC
 - 2.2.2.3. Inversores
 - 2.2.2.4. Contexto actual de la infraestructura para la generación de energía a través de la luz del sol
 - 2.2.3. Efectos de la temperatura ambiental
 - 2.2.4. Potencia de salida de sistema fotovoltaico
 - 2.2.4.1. Eficiencia fotovoltaica
 - 2.2.4.2. Celda solar monocristalina
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 3.1. Conjunto de datos de registro histórico de 10 años representativos de la irradiación solar de Patzún Chimaltenango
 - 3.2. Valores de irradiación solar mensual y anual promedio para el conjunto de datos de Patzún Chimaltenango
 - 3.3. Valores teóricos del potencial fotovoltaico anual para la base de datos de Patzún Chimaltenango
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 4.1. ¿Es posible determinar la capacidad de generación de energía renovable en Patzún Chimaltenango por medio del análisis de una base de datos climatológicos?

- 4.2. ¿Cuál es el comportamiento de los valores de irradiación solar mensual y anual promedio estimados de registro histórico de datos de Patzún Chimaltenango?
- 4.3. ¿Cuál la dinámica del potencial fotovoltaico del espacio techo de una casa en Patzún Chimaltenango en cada mes y años del registro histórico?
- 4.4. ¿Es posible establecer un procedimiento en cual mediante el análisis de una base de datos de irradiación solar incidente se estime el potencial fotovoltaico de Patzún Chimaltenango?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

A continuación, se describe el marco metodológico propuesto para el desarrollo del trabajo de investigación, el cual tiene el propósito de definir cada una de las etapas del proceso, así como también la ruta a seguir para alcanzar los objetivos propuestos en el trabajo de investigación.

10.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que la irradiación solar y potencial fotovoltaico se representan con un valor numérico continuo y además mediante análisis estadísticos de un conjunto de datos se busca comprender patrones y entender relaciones de causa y efecto.

El alcance es descriptivo, dado que se conocen las características del fenómeno y lo que se busca es entender detalladamente su comportamiento a través del tiempo, presentarlas de manera clara y establecer una base para investigaciones futuras.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información acerca de irradiación solar y potencial fotovoltaico se analizará en su estado original sin ninguna manipulación; además será transversal pues se estudiará un registro de datos de irradiación solar que ha sido recopilado en un periodo de tiempo de 10 años sobre una población predefinida, pues se analizará el comportamiento de dichas variables durante las horas del día, todo el año.

10.2. Unidades de análisis

La población en estudio será el municipio de Patzún, Chimaltenango, el cual se encuentra dividida en subpoblaciones dadas por zonas y colonias, de la cual se extraerán muestras de forma aleatoria de la zona 1 del municipio, que serán estudiadas en su totalidad.

10.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla 1.

Variables en estudio

| Variable | Definición teórica | Definición operativa |
|-------------------|--|---|
| Irradiación solar | Flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un tiempo dado | Los datos de irradiación solar son georreferenciados y recopilados por los satélites geoestacionarios y polar orbitales de CERES Instruments de la NASA a cada hora del día. El proceso de verificación de validez de los datos los realiza la entidad que administra los instrumentos de recopilación, procedimiento que se basa en la comparación de los datos medidos por dos o tres instrumentos. La dimensional de la variable en estudio se define como kW/m^2 . |

Continuación de la tabla 1.

| Variable | Definición teórica | Definición operativa |
|------------------------------------|--|--|
| Potencial fotovoltaico | Producción de potencia por capacidad fotovoltaica DC instalada para un sistema conectado a la red sin baterías. | El proceso de estimación del potencial fotovoltaico involucra el uso de los datos de irradiación solar, información de temperatura ambiental del lugar estudiado y eficiencia de un panel fotovoltaico. El potencial fotovoltaico estará asociado a los intervalos de tiempos en los cuales se tenga las mediciones de irradiación solar. El proceso de verificación de validez de los datos estará basado en la veracidad de la eficiencia del panel proporcionado por el fabricante, datos de irradiación solar y temperatura ambiental. La dimensional de la variable en estudio se define como kW. |
| Irradiación solar promedio mensual | Flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie como un valor representativo de las mediciones de un mes. | El proceso de estimación de la irradiación solar promedio mensual requiere del uso de la técnica estadística de la mediana. La variable en cuestión está asociada a un intervalo de tiempo de un mes. La dimensional de la variable en estudio se define como kW/m ² /mes. |
| Irradiación solar promedio anual | Flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie como un valor representativo de las mediciones de un año. | El proceso de estimación de la irradiación solar promedio anual requiere del uso de la técnica estadística de la mediana. La variable en cuestión está asociada a un intervalo de tiempo de un año. La dimensional de la variable en estudio se define como kW/m ² /año. |

Continuación de la tabla 1.

| Variable | Definición teórica | Definición operativa |
|-------------------------------------|---|---|
| Eficiencia de un panel fotovoltaico | Capacidad de producir más potencia eléctrica en la menor superficie posible. | El proceso de estimación de la eficiencia de un panel fotovoltaico se ve influida por la temperatura ambiental y tipo de material de la celda solar. La variable en cuestión está asociada a un intervalo de tiempo en la cual la misma es decreciente. La dimensional de la variable en estudio se define como un % entre 0 y 100 o un valor entre 0 y 1. |
| Temperatura ambiental | Propiedad física que describe la energía térmica presente en el aire o en cualquier otro medio circundante. | Los datos de temperatura ambiental son recopilados a través de los satélites de la NASA y consultados a través de la plataforma de The POWER PROJECT. La variable en cuestión está asociada a un intervalo de tiempo de una hora. El proceso de verificación de validez de los datos lo realiza la entidad que administra los instrumentos de recopilación de datos, procedimiento que se basa en la comparación de los datos medidos por dos o tres instrumentos. La dimensional de la variable en estudio se define como grados Celsius °C. |

Nota. Descripción de las principales variables del estudio propuesto. Elaboración propia, realizado en Word.

10.4. Fases de estudio

A continuación, se describen las 4 fases que deben llevarse a cabo para cumplir con el objetivo general y específicos del estudio propuesto. Cada fase describe sistemáticamente los procedimientos a cumplir para obtener los

resultados deseados, los cuales van desde revisión de literatura, recolección de datos, análisis de la información y métodos gráficos para interpretación de la información por parte del lector.

10.4.1. Fase 1: revisión de literatura

En esta etapa del proceso de investigación se pretende analizar y sintetizar el conocimiento previamente publicado con relación a la irradiación solar y el potencial fotovoltaico, esta fase es de suma importancia ya que proporciona las herramientas para comprender el estado actual del campo de estudio, identifica lagunas de conocimiento y establece el marco teórico y conceptual de la investigación.

Algunos aspectos clave de lo que implica la revisión de literatura es la identificación y selección de libros, artículos científicos y tesis relevantes acerca del procesamiento de los datos de irradiación solar y potencial fotovoltaico, para dicho propósito se utiliza la base de datos de bibliotecas digitales y artículos académicos para su consulta.

10.4.2. Fase 2: recolección de la información

El proceso de recolección de información consiste en la recopilación de datos necesarios para abordar el estudio de la determinación de la irradiación solar promedio y el potencial fotovoltaico y responder a las preguntas de investigación. Esta etapa implica un proceso sistemático y organizado en la obtención de datos que servirán como base para el análisis.

El primer paso consiste en establecer la estrategia de recolección de información, el método cuantitativo es el que más se ajusta a los propósitos de

este estudio ya que tiene un enfoque numérico el cual será necesario para el análisis de las bases de datos de radiación solar y variables climáticas.

Ante la utilización de un método cuantitativo, el instrumento utilizado para la recopilación de los datos serán los satélites de NASA LaRC Sciences Data Center (ASDC). El proceso de recolección de datos consistirá en la discriminación de bases de datos relacionadas a irradiación solar y variables climatológicas en la plataforma The POWER Project de la NASA. Se eligió esta fuente de datos debido a la confiabilidad de los instrumentos de adquisición de datos, los cuales han sido desarrollados con años de investigación, con lo cual la confiabilidad que se produzca los resultados será consistentes en diferentes momentos y condiciones. Se procurará organizar los datos recopilados de una manera sistemática de manera que se facilite su interpretación por parte del lector.

10.4.3. Fase 3: análisis de información

El análisis de información es una etapa en la cual se procesa la información recabada durante la fase de recopilación de datos, se pretende convertir los datos en información significativa y relevante para responder a las preguntas de investigación y alcanzar los objetivos del estudio.

Antes de comenzar el análisis, los datos recabados de irradiación solar se organizan y preparan para su procesamiento, lo cual significa la segmentación de datos en categorías cualitativas, la limpieza de datos cuantitativos, lo que conlleva identificar y corregir errores, como por ejemplo valores atípicos o datos faltantes que podrían afectar la calidad de los resultados y como resultado final de esta etapa la creación de una base de datos estructurada.

Para la determinación de la irradiación solar promedio se utilizará la técnica estadística de la mediana para estimar un valor representativo mensual y anual para el registro de datos disponibles.

En base a los valores promedio de radiación solar (kW/m^2) se procederá con la determinación del potencial fotovoltaico (kW) el cual precisa información de la irradiación solar promedio mensual y anual incidente, eficiencia del panel fotovoltaico, área de un panel fotovoltaico de uso domiciliar e información de la temperatura ambiental de Patzún Chimaltenango e inclinación del panel fotovoltaico para la optimización de la producción de energía. Para el valor final del potencial fotovoltaico se utilizará una formulación matemática que integre todos los elementos antes mencionados.

10.4.4. Fase 4: interpretación de información

Esta fase de la investigación pretende realizar gráficas para visualizar los datos de los registros históricos obtenidos y facilitar la interpretación de los resultados del análisis estadístico y con ello identificar patrones, tendencias, valores atípicos, estacionalidad.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En este apartado del estudio se definirán los métodos y herramientas estadísticas para examinar y comprender los datos recopilados en el estudio, estas técnicas permiten extraer información relevante, identificar patrones, relaciones y tendencias en los datos numéricos.

El investigador dará a conocer el método de recolección de datos usado por el sistema satelital, se establecerá las técnicas de estadística descriptiva para el análisis del conjunto de datos recopilados de irradiación solar, se realizará el cálculo de la potencial fotovoltaico a través de ecuaciones e información de irradiación solar y se realizarán gráficas para la comunicación de los resultados que faciliten al lector la interpretación de los resultados.

11.1. Método de recolección de datos

El método de recolección de datos utilizado en este estudio es el muestreo sistemático, el cual implica tomar mediciones a intervalos regulares de tiempo. Estas mediciones se toman de manera sistemática para cubrir un período de tiempo prolongado y generar una serie de datos que se pueden utilizar para analizar patrones de irradiación solar a lo largo del tiempo en Patzún Chimaltenango. Para el caso de estudio propuesto, los datos que se obtendrán serán de:

- Irradiación solar
- Temperatura ambiental

Las bases de datos se obtendrán de la página web The POWER Project de la NASA (<https://power.larc.nasa.gov/>). El análisis de datos se realizará para un lapso de 10 años anteriores al presente.

11.2. Análisis estadístico

El uso de operaciones aritméticas como suma, resta, multiplicación, división, se utilizan para la realización de cálculos. Las operaciones algebraicas se utilizan para la manipulación de ecuaciones y sustitución de variables para la realización de cálculos. Las técnicas de análisis estadístico descriptivo a utilizar en el presente estudio son, la mediana para comprender el valor típico de la irradiación solar, la desviación estándar para las medidas de dispersión, el coeficiente de variación para analizar la variabilidad del conjunto de datos en diferente tiempo, el rango para evaluar la variabilidad de los datos entre el valor máximo y el valor mínimo, el rango intercuartil para evaluar valores atípicos dentro del conjunto de datos.

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$CV = \frac{\sigma}{x} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

$$Rango = Val_{\max} - Val_{\min} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

Me : mediana

σ : desviación estándar

CV : coeficiente de variación

Val_{\min} : Valor mínimo

Val_{\max} : Valor máximo

R : rango

IQR : rango intercuartil

11.3. Potencial fotovoltaico

El cálculo del potencial fotovoltaico se realiza de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Energía generada (kWh)} &= \text{Radiación solar promedio (kWh/m}^2/\text{día}) \times \\ &\quad \text{Eficiencia del panel} \times \text{Área del panel (m}^2) \quad (\text{Ec. 8}) \end{aligned}$$

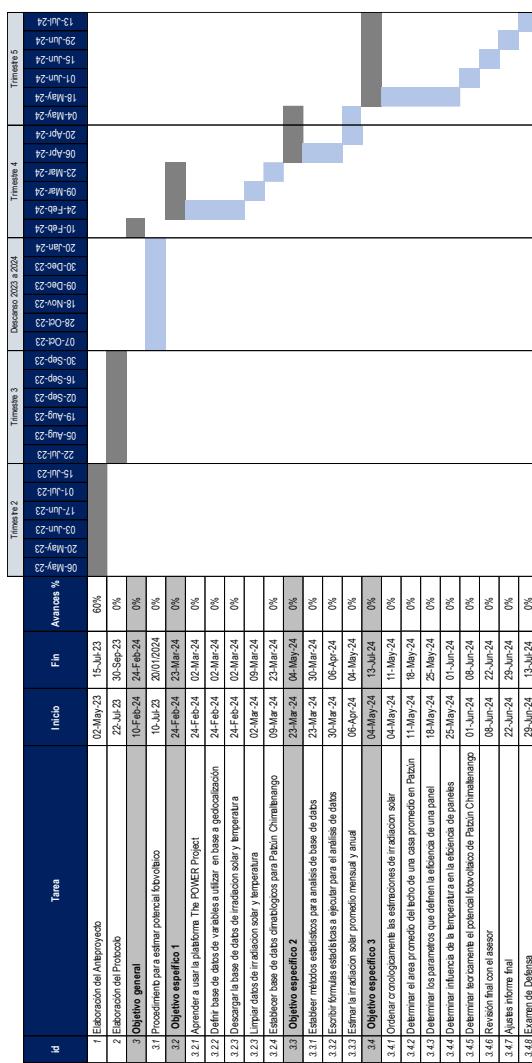
11.4. Análisis e interpretación de resultados

En esta etapa final de la investigación se propone realizar gráficas que faciliten al lector la interpretación de la información como patrones y tendencias recurrentes a lo largo del tiempo, valores atípicos.

12. CRONOGRAMA

Tabla 2.

Cronograma para la ejecución de investigación



Nota. Cronograma de actividades para la realización del trabajo de graduación de maestría en gestión de mercados eléctricos regulados. Elaboración propia, realizado con Excel.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Factibilidad técnica y financiera: debe analizarse si se cuenta con los recursos necesarios para la realización del trabajo, incluyendo recursos humanos, financieros, tecnológicos, acceso a información, permisos, equipo, infraestructura, entre otros. Cuantificar inversiones y especificar fuentes de financiamiento.

Tabla 3.

Recursos necesarios

| Recursos | Disponibilidad del recurso | Fuente de financiamiento | Cuantificación |
|----------------------|--|--------------------------|--|
| Humano | Investigador y asesor | No aplica | 2 personas |
| Financiero | Internet residencial, internet móvil, electricidad | Investigador | Q 800.00 mensual |
| Tecnológico | Licencia Office 365 | Nasa, investigador | Q 1,000.00 de por vida |
| Acceso a información | Información pública | No aplica | Registro histórico de base de datos de 10 años de The POWER Project de la NASA |
| Permisos | No necesario | No aplica | No aplica |
| Equipo | Computadora portátil y teléfono celular | Investigador | Computadora portátil y teléfono celular |
| Infraestructura | Oficina | Investigador | 1 oficina |

Continuación de la tabla 3.

| Recursos | Disponibilidad del recurso | Fuente de financiamiento | Cuantificación |
|--------------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| Imprevistos | Reparación de computadora, plan de datos de respaldo para teléfono celular | Investigador | Q 1,500.00 |

Nota. Detalle del presupuesto para la realización del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Es importante que cualquier limitación o restricción identificada se aborde de manera proactiva en el diseño de investigación y en la estrategia para mitigar riesgos potenciales.

REFERENCIAS

- Bagher, A. M., Vahid, M. M. A., & Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application [Tipos de células solares y aplicación]. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94-113.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoproductores con excedentes de energía*.
<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>
- David, L. (11 de septiembre de 2023). *Solar panel wattage and output explained* [Solar Panel Wattage and Output Explained]. Market Watch GUIDES.
<https://www.marketwatch.com/guides/home-improvement/solar-panel-wattage/>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of thermal processes* [Ingeniería solar de procesos térmicos]. Wiley.
[https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLibrary/45/John%20A.%20Duffie,%20William%20A.%20Beckman\(auth.\)-Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Fourth%20Edition%20\(2013\).pdf](https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLibrary/45/John%20A.%20Duffie,%20William%20A.%20Beckman(auth.)-Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Fourth%20Edition%20(2013).pdf)
- Elibol, E., Özmen, Ö. T., Tutkun, N., & Köysal, O. (2017). Outdoor performance analysis of different PV panel types [Análisis del rendimiento exterior de

diferentes tipos de paneles fotovoltaicos]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651-661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.051>

Geiger, M., Diabaté, L., Ménard, L., & Wald, L. (2002). A web service for controlling the quality of measurements of global solar irradiation [Un servicio web para el control de la calidad de las mediciones de irradiación solar global]. *Solar Energy*, 73(6), 475-484. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00121-4](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00121-4)

Geuder, N., Trieb, F., Schillings, C., Meyer, R., & Quaschning, V. (del 19 al 21 de febrero de 2003). Comparison of different methods for measuring solar irradiation data [Comparación de diferentes métodos para medir datos de irradiación solar]. *3rd International Conference on Experiences with Automatic Weather Stations*. Torremolinos, España.

Government of Canada. (diciembre de 2020). *Photovoltaic potential and solar resource maps of Canada* [Mapas de potencial fotovoltaico y recursos solares de Canadá]. <https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/renewable-energy/solar-photovoltaic-energy/tools-solar-photovoltaic-energy/photovoltaic-potential-and-solar-resource-maps-canada/18366>

Kawajiri, K., Oozeki, T., & Genchi, Y. (2011). Effect of temperature on PV potential in the world [Efecto de la temperatura sobre el potencial fotovoltaico en el mundo]. *Environmental Science & Technology*, 45(20), 9030-9035. <https://doi.org/10.1021/es200635x>

Mirhassani, S., Ong, H. C., Chong, W. T., & Leong, K. Y. (2015). Advances and challenges in grid tied photovoltaic systems [Avances y desafíos en los

sistemas fotovoltaicos conectados a la red]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.064>

Mohanty, P., Muneer, T., & Kolhe, M. (2016). *Solar photovoltaic system applications: a guidebook for off-grid electrification* [Aplicaciones de sistemas solares fotovoltaicos: una guía para la electrificación fuera de la red]. Springer International Publishing.

Orsetti, C., Muttillo, M., Parente, F. R., Pantoli, L., Stornelli, V., & Ferri, G. (2016). Reliable and inexpensive solar irradiance measurement system design [Diseño de sistema de medición de irradiancia solar confiable y económico]. *Procedia Engineering*, 168, 1767-1770. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.001>

Rezk, H., Tyukhov, I., Al-Dhaifallah, M., & Tikhonov, A. (2017). Performance of data acquisition system for monitoring PV system parameters [Rendimiento del sistema de adquisición de datos para monitorear los parámetros del sistema fotovoltaico]. *Measurement*, 104(18), 204-211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.050>

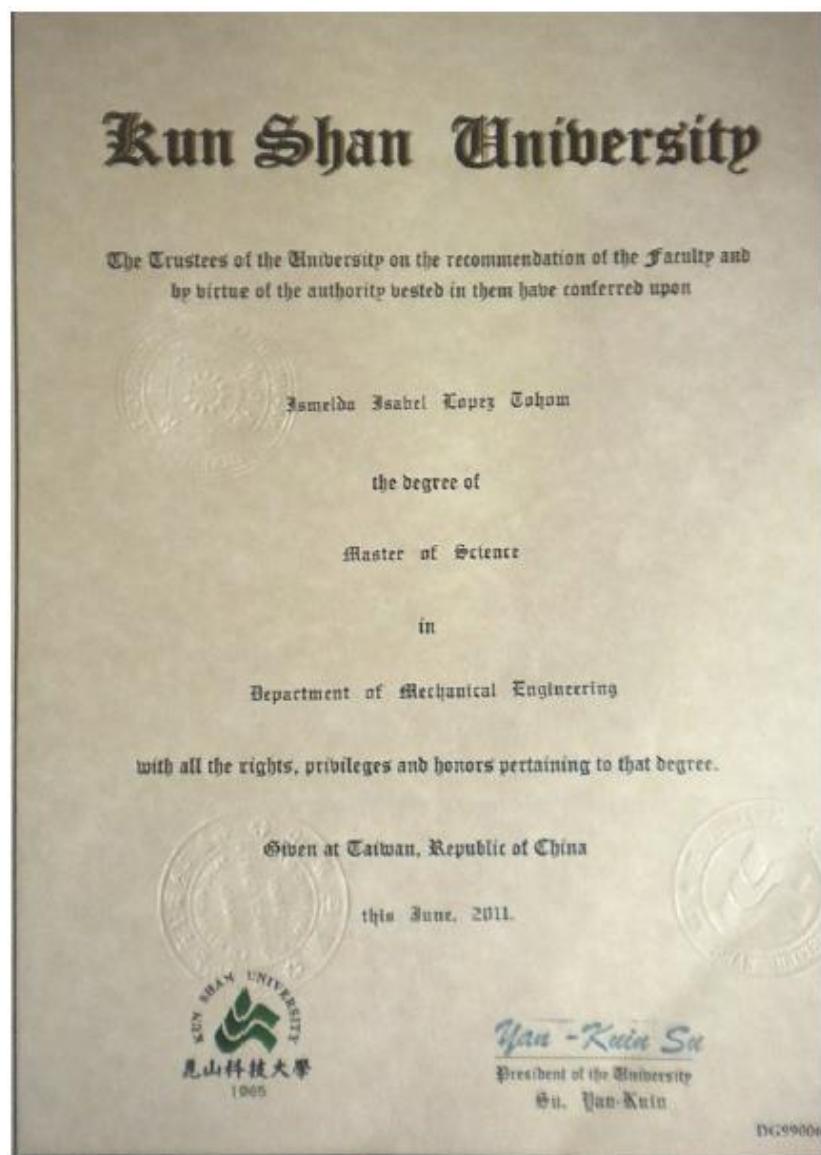
Šúri, M., Huld, T. A., & Dunlop, E. D. (2005). PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe [PV-GIS: una base de datos de radiación solar basada en web para el cálculo del potencial fotovoltaico en Europa]. *International Journal of Sustainable Energy*, 24(2), 55-67. <https://doi.org/10.1080/14786450512331329556>

Szokolay, S. (2007). *Solar geometry* [Solar Geometry]. PLEA.

Widén, J. y Munkhammar, J. (2019). *Solar radiation theory* [Teoría de la radiación]. Universidad de Uppsala.

DOCUMENTOS DEL ASESOR

- Título de maestría de asesora



Continuación de Título de maestría de asesora.



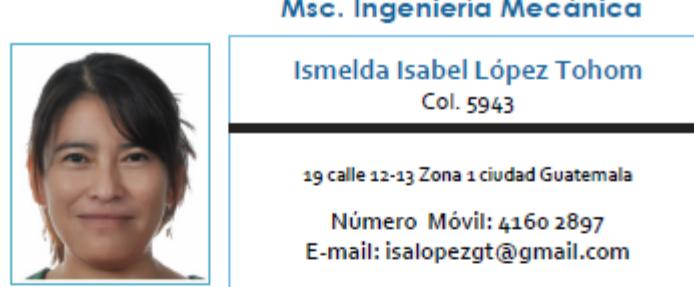
Nota. Descripción que muestra el lado anverso y reverso del título de maestría de la asesora.
Elaboración propia.

- Constancia de colegiado activo



Nota. Descripción de la constancia de colegiado de la asesora. Elaboración propia.

- Currículum



Durante 18 años, he sido Directora Estratégica en Industrias Sicat/Finox, liderando servicios de Montaje, Automatización, Eficiencia, Comisionamiento y confiabilidad. He gestionado Outsourcing de mantenimiento y brindado asesoría para mejora continua y eficiencia en la industria. He trabajado en proyectos de energía renovable y no renovable, y he sido panelista en congresos internacionales en el sector energético. Poseo una maestría en ingeniería mecánica de Kun Shan University y un posgrado en Energía y Recursos Sostenibles de Incae Business School. Cuento con certificación Energy 101 y confiabilidad por la Universidad de Texas, adquirido experiencia en proyectos en Arava Institute, Israel y he desarrollado proyectos STEEM. Mi experiencia abarca dirección de personal técnico y profesional, identificación de oportunidades de negocio, eficiencia y una sólida habilidad para impulsar la mejora continua y Confiabilidad

Formación académica

| | |
|---------------|---|
| 2014 | Arava Institute: Energy and Sustainability in developing countries, Israel |
| 2010 | Certificado Ingeniería de Confiabilidad |
| 2012 | Energy 101: Texas University |
| 2010 | Predictive Maintenance |
| 20012 | Incae : Gestión de energías sustentables para el desarrollo rural sostenible, modalidad blended learning. Costa Rica y Nicaragua. Proyecto desarrollado: Laboratorio de Investigación en energías Renovables |
| 2009- | Khun Shan University, Taiwan, República de China Msc. Ingeniería Mecánica (Programa en Inglés) Proyecto de tesis con aplicación en energía solar |
| 2007-2007 | Universidad Galileo Post-grado y Certificación en E-learning Especialidad en diseño de cursos en línea |
| 1995-2001 | Universidad de San Carlos de Guatemala Ingeniería Industrial Proyecto de tesis enfocado ingeniería de procesos |
| Conferencista | He sido conferencista invitada en UNAH Honduras, Costa Rica, Guatemala, India y Nepal |

Continuación de currículum.

Experiencia profesional Docente

| | |
|---------------------------|---|
| 2014 | Universidad San Carlos: Docente posgrado Energía y ambiente, Mantenimiento y especialidad en mercados energéticos. Cursos: Mantenimiento predictivo, Seminario, Proyectos de energía eólica y solar, Energía renovables, Energía eléctrica y su legislación |
| 2001-2009 | Universidad Galileo |
| Cargo: | Catedrática titular |
| | Cursos Matemática y Estadística |
| 2005-2007 | Universidad Mariano Gálvez |
| Cargo: | Catedrática departamento de educación a distancia |
| | Cursos: Matemática, Física, Termodinámica, Mecánica de Fluidos, Mecánica de sólidos |
| 2005 | Coordinadora del equipo de desarrollo para la plataforma GES (Galileo Educational System) |
| Universidad Mesoamericana | Catedrática del curso de Aplicaciones de Energías Renovables |

Experiencia profesional laboral

| | |
|------|---|
| 2012 | Cooperación Alemana GIZ Guatemala |
| | Propuesta y ejecución de proyecto de energía y desarrollo sostenible Diseño e implementación de proyectos de Energías Renovables para el desarrollo sostenible, Proyecto piloto de aplicación de energía solar |

2005- actual SICAT/Finoxa: Directora Estratégica

Planificación, coordinación y ejecución de proyectos para la industria que incluye el montaje, mantenimiento, actualización, adaptación de tecnología, ampliación, traslado, reparación, asesoría en mantenimiento, KPI's y confiabilidad en la industria

Instalaciones eléctricas en baja y mediana tensión

- Diseño e instalación de acometidas eléctricas industriales y comerciales media y baja tensión.
- Instalación de generadores eléctricos y transferencias automáticas.
- Instalación y suministro de bancos de capacitores automáticos, semiautomáticos y manuales en baja tensión.
- Instalaciones de motores eléctricos con arranque simple, estrella-delta, con variadores de frecuencia y maniobras automatizadas.
- Diseño y armado de paneles de distribución para energía para edificios o maquinaria industrial.
- Instalación y diseño de tierra física.
- Instalación y diseño de generación fotovoltaica

Servicios:

- Mantenimiento de Calderas.

Continuación de currículum.

- Instalación y mantenimiento de plantas para asfalto y trituración de piedrin.
- Mantenimiento eléctrico de Bombas para agua y sólidos.
- Mantenimiento de generadores eléctricos.
- Fabricación paneles de control para generadores eléctricos de hasta 1000kw
- Instalación de plantas para tratamiento de aguas residuales PTAR.

Estudios:

- Estudios de calidad de energía.
- Estudios de ahorro energético.
- Certificación de sistemas de tierras físicas.
-
- Diseño y montaje mecánico;
- Diseño y Fabricación de Equipo mecánico
- Montaje de tuberías de baja y alta presión en HN, SS, AL, HG, CU.

Sistemas de bombeo

- Sistemas de bombeo de Presión Constante Flujo Variable para residencias y edificios.
- Sistemas de bombeo de Agua con Bombas de energía Solar.
- Sistemas de bombeo para Piscina con energía Solar.
- Sistemas de bombeo de Sólidos.
- Sistemas de Bombeo para dosificación de líquidos

Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR):

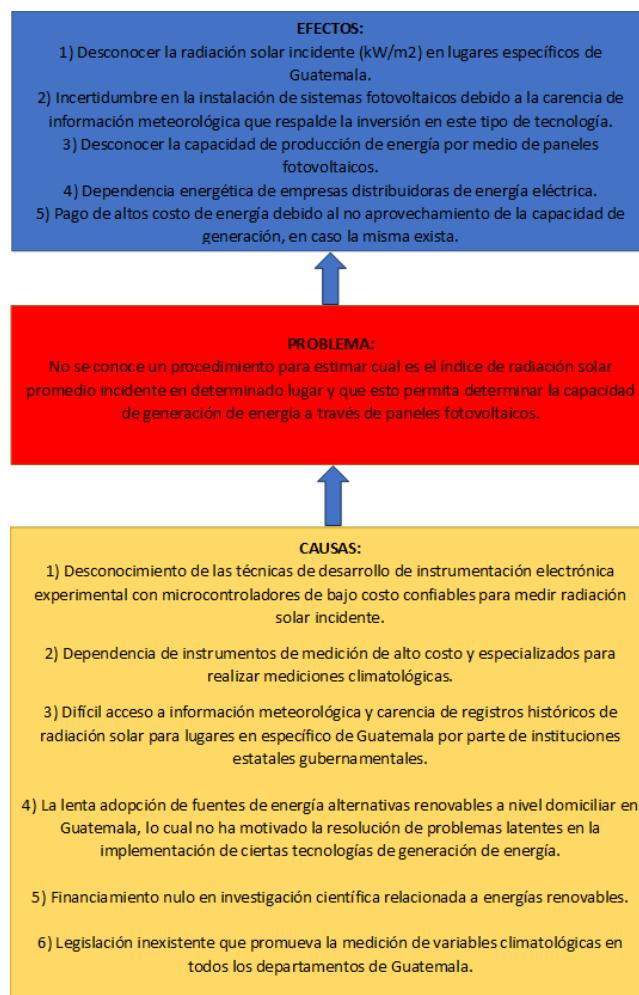
- Ingeniería y Diseño: Tratamiento Primaria, Secundario y Terciario.
- Montaje de PTAR. Aeróbico y anaeróbicos.
- Suministro de equipos para PTAR. Sopladores, bomba para sólidos, controladores de PH, temperatura y oxígeno
- Automatización y puesta en marcha de PTAR.

Para cada especialidad y rama, realizo el plan de negocio, asignación de presupuesto, personal, equipo, etc. inversión de sus recursos económicos.

Nota. Descripción de currículum de la asesora. Elaboración propia.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Nota. El problema, sus causas y efectos asociados. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

| Matriz de coherencia/consistencia | |
|--|--|
| ¿Cuál es el procedimiento apropiado para estimar el potencial fotovoltaico (kW) de Patzún Chimaltenango por medio de registros históricos de radiación solar incidente a lo largo de los años? | Proponer un procedimiento para estimar el potencial fotovoltaico (kW) por medio del análisis de un registro de datos de radiación solar (kW/m ²) incidente en Patzún Chimaltenango. |
| ¿Cuál podría ser una fuente de registros históricos confiables para obtener datos meteorológicos? | Establecer una base de datos de climatológicos por medio de su recopilación en la plataforma The POWER Project para determinar la capacidad de generación de energía renovable de Patzún Chimaltenango. |
| ¿Cuanta es la irradiación solar (kW/m ²) incidente promedio mensual y anual en el casco urbano de Patzún Chimaltenango? | Estimar la irradiación solar promedio mensual y anual por medio del análisis de un conjunto de datos para determinar la irradiación incidente sobre el techo de una casa en el casco urbano de Patzún Chimaltenango. |
| ¿Cuál es el potencial fotovoltaico de una casa con tamaño promedio en el casco urbano de Patzún Chimaltenango? | Determinar el potencial fotovoltaico, por medio de un cálculo teórico para determinar la energía que se puede producir con el espacio del techo de una casa en Patzún Chimaltenango. |

Nota. Pregunta central y preguntas auxiliares también objetivo general y objetivos específicos.

Elaboración propia.

