



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

**DISEÑO DE INVESTIGACION DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA
PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

Carlos Alberto Fagiani Ramírez

Asesorado por el Dr. Ing. Gilmar Obdulio Tronconi Sandoval

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACION DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA
PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ALBERTO FAGIANI RAMÍREZ

ASESORADO POR EL DR. ING. GILMAR OBDULIO TRONCONI SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO 2,023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Estuardo Ixpata Reyes
EXAMINADOR	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Inga. María Martha Wolford Estrada
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 INVESTIGACION DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha de aprobación 11 de noviembre de 2,022.

Carlos Alberto Fagiani Ramírez.



EEPFI-PP-1956-2022

Guatemala, 11 de noviembre de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

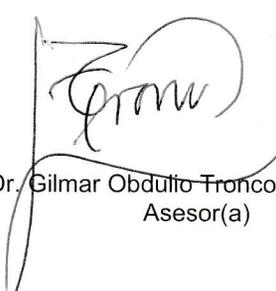
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gerencia Estratégica - Evaluación financiera de problemas**, presentado por el estudiante **Carlos Alberto Fajani Ramírez** carné número **200312502**, 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 Industrial.

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

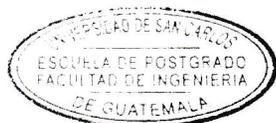
Atentamente,

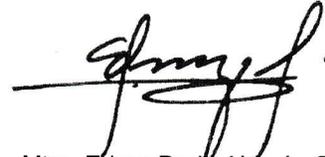
"Id y Enseñad a Todos"


Dr. Gilmar Obdulio Tronconi Sandoval
Asesor(a)

Ing. Gilmar Obdulio Tronconi Sandoval, Ph.D.
Ingeniero Agroindustrial, Colegiado No. 608
Doctor en Tendencias en Biotecnología
y Ciencias Alimentarias

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




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





EEP-EIMI-1601-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Alberto Fagiani Ramírez**, 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

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2022

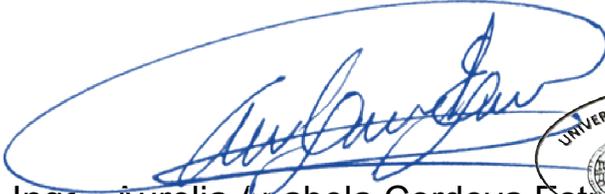


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.058.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**, presentado por: **Carlos Alberto Fagiani Ramírez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Quien me ha acompañado a lo largo de este camino y nos ama a todos de manera incondicional.
- Mi padre** Que se esforzó por enseñarme a ser un hombre de bien, que, con sus palabras duras, forjo mi voluntad por sobresalir.
- Mi madre** Quien con su amor supo darme el valor de seguir adelante en la vida.
- Mi amiga** Sonia Pedroza, quien ha sabido ser como una madre y mi amiga en los momentos difíciles.
- Mi esposa** Doria Xitumul, quien ha sido mi compañía, ayudándome a ver mis virtudes y apoyándome para no rendirme.
- Mis hijos** Juane, Ale y Gae Fagiani, cada uno representa algo distinto de mi personalidad y son una bendición que Dios me ha dado para aspirar a ser mejor cada día. Espero algún día acompañarlos en este acto.
- Ingeniero** Gilmar Tronconi, quien me ha aportado sus conocimientos y enseñanzas para realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y permitirme llevar en alto el nombre mi país.

Mis hermanas

Por su amor y su guía en los momentos difíciles.

Mis amigos

Pablo Lopez, David Chajón y Oscar Chacón, quienes han sido mis hermanos y me han dado su apoyo para poder culminar este ciclo.

Mi amiga

Clarivel Perez, quien me ha enseñado que no debemos de hacer el daño que no queremos que nos hagan.

Ingeniero

Francisco González, que siempre me apoyo a lo largo de mi carrera y fue una persona de bien en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Contexto general.....	7
3.2. Preguntas de investigación.....	8
3.2.1. Pregunta Central.....	8
3.2.2. Preguntas Auxiliares.....	9
3.3. Delimitación.....	9
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS.....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos.....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Energía fotovoltaica.....	19
7.1.1. La energía fotovoltaica a través de la historia.....	19

7.2.	Energía Solar en Guatemala	21
7.2.1.	Centrales Solares de Generación en Guatemala	22
7.2.2.	Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, decreto número 52-2003 y su reglamento acuerdo gubernativo no. 211-2005.	25
7.2.3.	Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía –NTGDR-, resolución cnee-227-2014.	26
7.3.	Beneficios de la aplicación de la energía fotovoltaica	27
7.4.	Pilares de sostenibilidad.....	29
7.4.1.	Pilar económico.....	30
7.4.2.	Pilar ambiental.....	31
7.4.3.	Pilar social.....	31
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	33
9.	METODOLOGÍA	37
9.1.	Características del estudio	37
9.1.1.	Enfoque.....	37
9.1.2.	Alcance.....	37
9.1.3.	Diseño	38
9.2.	Unidad de análisis	38
9.3.	Variables	38
9.4.	Fases de estudio.....	40
9.4.1.	Fase 1: Análisis del consumo de energía para el área	40

9.4.2.	Fase 2: Cálculo del costo del consumo de energía	40
9.4.3.	Fase 3: Análisis de la distribución de planta	40
9.4.4.	Fase 4: Medición de los valores de irradiación en el área	41
9.4.5.	Fase 5: Dimensionamiento y determinación de los componentes	41
9.4.6.	Fase 6: Diseño del sistema autónomo	41
9.4.7.	Fase 7: Diseño de la conexión a la red	42
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	43
11.	CRONOGRAMA	45
12.	ACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	47
12.1.	Presupuesto	47
13.	REFERENCIAS	49
14.	APÉNDICE	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	17
2.	Los pilares de la sostenibilidad	30
3.	Cronograma de actividades	45

TABLAS

I.	Distribución de proveedores en el mercado mayorista. Año 2,021.	8
II.	Proyectos de generación de energía fotovoltaica en operación.	25
III.	Unidad de análisis.	38
IV.	Presupuesto de la investigación.	47

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

AMM	Administrador del Mercado Mayorista
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
ISR	Impuesto sobre la renta
IVA	Impuesto al valor agregado
IEMA	Impuesto a las empresas mercantiles y agropecuarias
KWH	Kilovatio hora
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MW	Megavatio
NTGDR	Norma técnica de generación distribuida renovable
SIN	Sistema Nacional Interconectado

GLOSARIO

Batería	Almacena la producción fotovoltaica para su posterior uso en las instalaciones desconectadas de la red eléctrica.
Central solar fotovoltaica	Es aquella instalación en la que se aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica. Este proceso puede realizarse mediante la utilización de un proceso fototérmico, o de un proceso fotovoltaico.
Célula solar de silicio	Es un dispositivo eléctrico que convierte la energía incidente de la radiación solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico a base de silicio.
Contador bidireccional	Contador particular que se instala en el caso de instalación de un sistema fotovoltaico para contabilizar tanto la energía extraída como la transferida a la red.

Contaminación acústica	Presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos.
Desarrollo sostenible	Es el que busca satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro, contando con tres factores claves: sociedad, economía y medio ambiente.
Energía autóctona	Energía perteneciente a una determinada zona geográfica que se consume en esa misma zona.
Energía eléctrica	Fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones) que se produce en el interior de materiales conductores.
Energía fotovoltaica	Es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico.

Energía renovable	Son aquellas fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales: el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. Se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, sino recursos naturales capaces de renovarse ilimitadamente.
Gases de efecto de invernadero	Es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Este proceso es la fundamental causa del efecto invernadero.
Generación distribuida renovable	Es la producción de electricidad a partir de tecnologías que utilizan recursos renovables (energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa y otras que el MEM determine), que se conectan a las redes del sistema de distribución y cuyo aporte de potencia neta es menor o igual a 5 MW.
Interconexión	Es la conexión de un sistema de generación perteneciente a un cliente al sistema de distribución.
Inversor fotovoltaico	Transforma la corriente continua que se genera en las placas solares en alterna.
Medio ambiente	Es el espacio en el que se desarrolla la vida de los seres vivos y que permite la interacción de estos.

Mercado mayorista eléctrico

Es un mercado de costos, por lo que la asignación de los productos que se transan se realiza conforme al Costo Variable de Generación (CVG) declarado por las centrales generadoras conectadas al SIN.

Optimizadores de potencia

Son componentes de una instalación fotovoltaica situados entre los paneles fotovoltaicos y el inversor. Precisamente, su función es mejorar el rendimiento de cada panel para que funcionen a su máxima potencia.

Placa fotovoltaica

Placas formadas por células solares cuya función es transformar la energía solar en electricidad.

Radiación solar

Es aquella energía emitida por el sol a través de ondas electromagnéticas.

Sistema eléctrico autónomo

Es un sistema eléctrico fuera de la red para lugares que no estén equipados con un sistema de distribución de energía eléctrica o que no deseen estar incluidos en él.

1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica, es un recurso indispensable hoy en día para la operación de la mayor parte de las plantas industriales, no obstante, la generación de ésta, por los distintos medios disponibles en el mercado eléctrico guatemalteco genera una variación de los precios, que las empresas que acuden a este mercado no pueden predecir. Esto lleva a un aumento significativo en el costo de la elaboración de los productos por parte de las empresas.

La presente investigación, tiene como objetivo principal el demostrar la factibilidad de instalar un sistema de generación de energía fotovoltaico, para una nave industrial en una empresa ubicada en el departamento de Escuintla. La finalidad es mantener alimentadas las luminarias de un sector de la planta, en funcionamiento durante las horas que se requieran.

La empresa actualmente obtiene la energía por parte del mercado mayorista guatemalteco, donde según la estación del año, puede encarecerse el costo al variar las fuentes de generación disponibles dentro del mercado. Dentro de los sistemas de gestión de la empresa, también se encuentra implementada la norma de gestión ambiental ISO 14001 versión 2015. El proyecto no solo pretende alcanzar un objetivo económico, a su vez busca proponer una alternativa de trabajo para la empresa, que mantenga sea funcional para sus operaciones y genere energía renovable no contaminante.

El informe de la investigación está conformado por cinco capítulos los cuales se detallan a continuación:

El capítulo uno, contiene los antecedentes que sirven de referencia para realizar la investigación. Estos proveen las bases sobre las cuales se estructura el trabajo del estudio, del sistema de generación de energía fotovoltaico y sirven de referencia para su diseño.

El capítulo dos, contiene la información teórica sobre lo que significa la generación eléctrica por medio de la energía solar, como funciona un sistema de generación fotovoltaico, los elementos que lo componen y la normativa guatemalteca de generación de energía para generadores independientes.

El capítulo tres, presenta el desarrollo de la investigación, se llevará a cabo la recolección de datos de los valores de consumo de energía eléctrica del sistema actual, se calcula el costo del consumo tomando la variación del costo, por el cambio de estación a lo largo de un año y se mediaran los valores de irradiación solar en el área seleccionada para la instalación.

El capítulo cuatro, analizará los resultados del estudio enfocado en los costos de instalación del nuevo sistema, el costo de mantenimiento comparado contra el costo del consumo actual procedente del mercado mayorista.

En el capítulo cinco, se discutirán los resultados en base al análisis de los datos obtenidos en los capítulos anteriores y se determinará la factibilidad del proyecto.

2. ANTECEDENTES

MEM (2018), en su publicación: *La energía solar en Guatemala*, en el país de Guatemala.

En este contexto, se analiza la situación actual de la industria guatemalteca, donde la mayor parte de las empresas consumen energía eléctrica para realizar sus labores diarias. La generación de esta energía proviene de distintas fuentes en un mercado mayorista. Un mínimo porcentaje (1.74 % según el informe estadístico 2021 del Administrador del Mercado Mayorista - AMM) proviene de la generación fotovoltaica.

Es importante resaltar que son muchas las empresas, que están adoptando cambiar hacia un modelo sostenible de generación de energía eléctrica, con la finalidad de abastecer sus operaciones. Esto conlleva a que la empresa maneje una tarifa con menor variación y que sea amigable con el medio ambiente.

Ponce (2019), en su tesis de grado doctoral en ingeniería superior en automática y electrónica industria, elaborada en la Universidad Nacional de Educación a distancia, denominada: *La energía solar fotovoltaica distribuida y las SMART GRID como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador*, en el país de Ecuador, cuya finalidad es la propuesta de analizar la introducción de un sistema de generación de energía fotovoltaica en el país de Ecuador, como un modelo para diversificar la matriz eléctrica en ese país.

En base a su investigación se hace una comparación, entre el avance de los países desarrollados con respecto a la generación de energías sostenibles y sus legislaciones.

Bajo este contexto, se resalta la importancia de que las empresas que conforman el mercado guatemalteco impulsen el desarrollo de políticas que obliguen a laborar bajo normas estrictas, que eviten la contaminación del medio ambiente y el daño a las comunidades.

La Torre (2022), en su tesis de licenciatura en ingeniería eléctrica, elaborada en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, denominada: *Diseño e implementación de un sistema de energía renovable por medio de paneles solares en la comunidad masa 2*, en el país de Ecuador, cuya finalidad es el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para una comunidad.

Identifica los tipos de sistemas fotovoltaicos, que pueden ser implementados según las condiciones estructurales y ambientales, bajo las cuales se ve expuesta el área. Es de suma importancia tomar estos aspectos en cuenta, al momento de realizar el diseño de un sistema para que este sea funcional y genere un retorno sobre la inversión.

Miranda (2016), en su tesis de licenciatura en arquitectura, elaborada en la Universidad Rafael Landívar, denominada: *Implementación de la energía solar en la vivienda guatemalteca*, en el país de Guatemala, analiza la situación a las cuales están expuestas las viviendas en Guatemala con respecto al consumo de energía eléctrica y como se pueden beneficiar por la implementación de sistemas fotovoltaicos de uso doméstico.

En este trabajo se analizan los componentes, que forman parte de un sistema de energía fotovoltaica. En la actualidad, se encuentra una alta disponibilidad de proveedores, los cuales abastecen todos estos componentes, generan planes de mantenimiento y dan soporte al momento de requerir repuestos para estos elementos. Es de comprender que la implementación de estos sistemas es factible, desde el punto de vista de abastecimiento y soporte técnico al momento de requerirse.

Enchufe solar (s.f.), consultado el 01/08/22, enchufesolar.com/blog/ventajas-solar-fotovoltaica/: “10 ventajas de usar la energía fotovoltaica”.

El artículo hace referencia a los beneficios del uso de la energía fotovoltaica, entre los cuales se destaca que, al provenir de la utilización de la energía solar, proviene de una fuente inagotable. Con el tiempo, se ve una reducción en los costos del uso de energía eléctrica, al producir la propia energía para abastecer una nave industrial. No genera una contaminación acústica y es de tomar en cuenta, que son de fácil instalación. Por otra parte, los sistemas no son contaminantes al provenir de una fuente renovable.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Basados en un contexto económico, todo proveedor de un producto o servicio tiene como objetivo, disminuir los costos de su producto para que su margen de ganancia sea mayor. Con un número limitado de generadores y distribuidores en Guatemala, las regulaciones no controlan con eficacia las alzas del precio de la energía eléctrica, por la escasez de fuentes primarias para su generación.

Es común en un país como Guatemala, el uso de la energía eléctrica proveniente de generadoras, que utilizan combustibles fósiles para su generación. Esto implica que los costos de un producto se vean afectados por las distintas variables que afectan el precio de la energía eléctrica.

Desde un aspecto ambiental, los grandes consumidores en Guatemala reciben la energía eléctrica de distintos proveedores. Muchas de estas empresas utilizan combustibles fósiles, que generan gases de invernadero para luego ser liberados en el ambiente. Las hidroeléctricas por su parte, tienen un impacto distinto en el ambiente en donde pueden afectar el ecosistema de los ríos. Estos tipos de generación no son sostenibles, con el paso del tiempo y consumen los recursos limitados de la naturaleza.

3.1. Contexto general

La planta está ubicada dentro del departamento de Escuintla, es clasificada como un gran usuario de energía eléctrica, lo que significa que se consume directamente del mercado mayorista. Esto se traduce en que se adquiere la

energía por medio de una comercializadora, la cual realiza la transacción de compra. Dependiendo de la época del año, la energía puede provenir de distintas fuentes generadoras las cuales se dividen en:

Tabla I. **Distribución de proveedores en el mercado mayorista. Año 2,021**

FUENTES	GWh	%
PLANTAS HIDRÁULICAS	5,960.29	45.25 %
TURBINAS DE VAPOR	2,490.51	18.91 %
COGENERADORES	2,404.57	18.25 %
MOTORES RECIPROCANTES	252.68	1.92 %
EÓLICA	323.8	2.46 %
GEOTÉRMICAS	264.97	2.01 %
FOTOVOLTAÍCA	229.6	1.74 %
TURBINAS DE GAS	16.66	0.13 %
IMPORTACIONES	1,140.94	8.66 %
DESVIACIONES	88.52	0.67 %
TOTAL	13,172.54	100 %

Fuente: AMM, (2,021), *Informe estadístico*.

No se cuenta con un sistema de generación propio, el cual alimente las naves industriales de la planta.

3.2. Preguntas de investigación

Las preguntas sobre las cuales se basa la investigación del trabajo de estudio se definen a continuación:

3.2.1. Pregunta Central

¿Cómo implementar un sistema de generación de energía fotovoltaica que cumpla con las necesidades de la nave industrial?

3.2.2. Preguntas Auxiliares

- ¿Cuánta energía es necesaria generar para mantener la iluminación en el área seleccionada?
- ¿Cuál es el método que más se acopla a las condiciones actuales de trabajo?
- ¿Cuál es la inversión necesaria para alimentar el área seleccionada y en cuanto tiempo se dará el retorno sobre la inversión?
- ¿Qué mantenimiento requiere este tipo de sistemas y cual la periodicidad en la cual se le debe dar?

3.3. Delimitación

La investigación será enfocada en: **MODELO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UNA PLANTA DE ALIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA.**

La investigación está delimitada a la iluminación de una nave industrial, en una empresa productora de alimentos, por lo que no incluye ninguna de sus operaciones productoras.

Para la realización de la investigación, se tiene la autorización de una planta de producción de alimentos del departamento de Escuintla. Dicha planta solicito que no se mencione su nombre, productos, ni la situación de sus servicios. Esta investigación será un aporte valioso al crecimiento de sus operaciones.

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación se considera necesaria, dado que pretende evaluar la viabilidad de un problema, al cual se enfrentan la mayor parte de las empresas de las distintas industrias, que conforman el mercado guatemalteco. Es un tema que se enfoca en el desarrollo sostenible de energía, para una empresa de alto volumen que produce alimentos y bebidas. Al desarrollar la propuesta de proyecto, se pretende que se determine la inversión inicial del proyecto, el costo de mantenimiento y tiempo de retorno esperado sobre la inversión.

La generación de energía eléctrica por medios fotovoltaicos puede representar un ahorro a largo plazo, para las empresas que deciden invertir en estos sistemas.

Se puede entender que las empresas esperen un retorno en el corto y mediano plazo, que pueda justificar una inversión a través de sus utilidades, pero otro de los objetivos de este proyecto, es determinar el tiempo que este puede durar en funcionamiento y medir el tiempo de retorno sobre la inversión. Es una tendencia en todas las industrias de Guatemala, demostrar que sus operaciones tienen un desarrollo sostenible que no afecte el medio ambiente, y que se preocupa por la problemática social de la actualidad.

Por consiguiente, se considera necesario establecer el sistema correcto que se adapte a las necesidades de generación eléctrica en la empresa, que se determinen los costos precisos de inversión, los costos de mantenimiento y quien puede proveerlo, así como el tiempo de retorno sobre la inversión.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar la factibilidad de implementar un sistema de generación de energía fotovoltaica, que suministre la cantidad suficiente de energía eléctrica para cubrir alimentar la iluminación en una nave industrial.

5.2. Específicos

- Determinar la cantidad de energía necesaria para alimentar el área seleccionada y el horario específico.
- Investigar el método de generación de energía fotovoltaica que más se aplique a las condiciones a las cuales se encuentra expuesta la planta.
- Determinar el costo de inversión y el horizonte del tiempo de retorno.
- Establecer el costo del mantenimiento del sistema que se pretende instalar.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

La principal necesidad que se busca cubrir con la investigación es la de encontrar una fuente de generación de energía alterna, para la alimentación de la iluminación de la nave industrial, disminuyendo el costo por la variación de la energía proveniente del mercado mayorista.

Los distintos proveedores que participan dentro del mercado mayorista de energía eléctrica en Guatemala utilizan métodos altamente contaminantes para el medio ambiente, con esta investigación se desea probar que existen alternativas para la generación de la energía, que pueden ser amigables con el medio ambiente y a la vez de bajo costo.

En el mercado guatemalteco, son pocas las empresas que han invertido en un sistema de generación de energía renovable para alimentar sus operaciones. Con la importancia que se le está dando al impacto al medio ambiente por parte de las empresas del sector privado, y con las iniciativas de ley que se han impulsado por parte del gobierno, se considera un proyecto necesario para que la empresa demuestre su interés por la problemática actual y que este impulse el cambio en otras empresas.

Para el desarrollo del estudio, se definen las siguientes fases en las cuales está dividido el proyecto:

Fase 1 análisis del consumo de energía para el área en esta etapa se tiene como objetivo medir la cantidad de energía eléctrica, que se necesita para alimentar la nave industrial. Se estiman 25 días para cumplir la fase.

Fase 2 cálculo del costo de consumo de energía: en esta etapa se tiene como objetivo el analizar el costo de la energía que se consume actualmente para alimentar la nave industrial. Se estiman 25 días para cumplir con el análisis.

Fase 3 análisis de la distribución de planta: se realizará un análisis de la distribución en planta, para determinar el mejor sitio para instalar el sistema de paneles. Se estiman 25 días para cumplir con la fase.

Fase 4 medición de los valores de irradiación en el área: se realizará un análisis de la irradiación del área que se desea iluminar. Se estiman 35 días para cumplir con la fase.

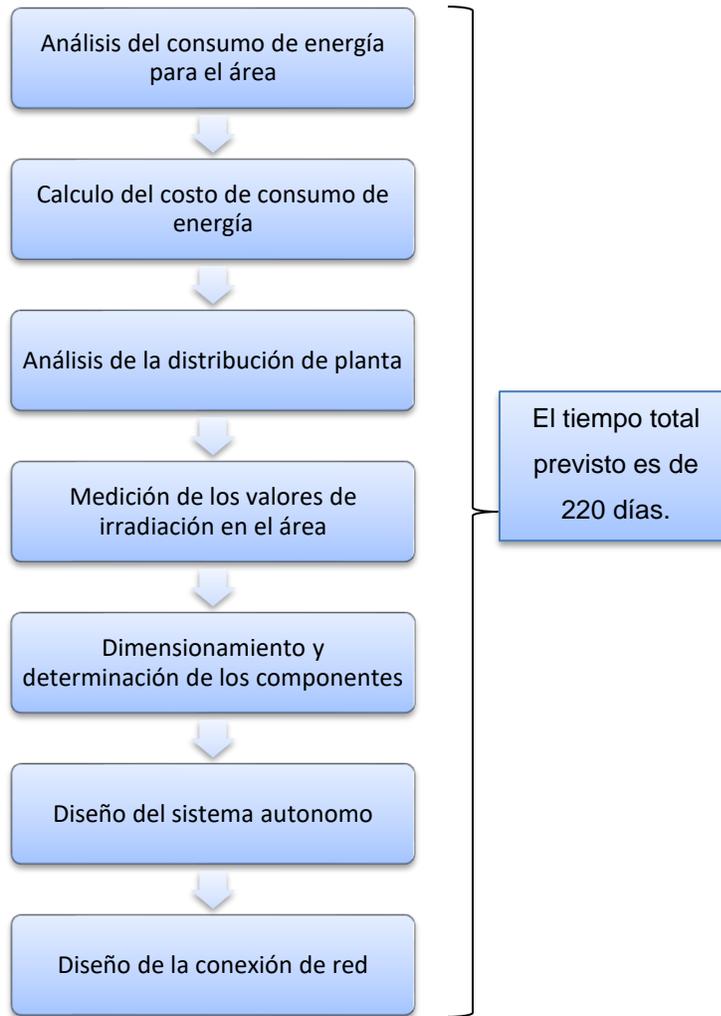
Fase 5 dimensionamiento y determinación de los componentes: se establecerán los componentes que se utilizarán en el sistema seleccionado, para las condiciones de la nave industrial y la dimensión del sistema. Se estiman 30 días para cumplir con la fase.

Fase 6 diseño del sistema autónomo: se realizará el diseño del sistema autónomo de energía renovable, esto incluye la ubicación en planta. Se estiman 35 días para terminar esta fase.

Fase 7 diseño de la conexión a la red: se establecerá el plan de la instalación a la red de la nave industrial. Esta fase se estima para terminar en 45 días.

El desarrollo de todas las fases tiene un tiempo estimado de 220 días hábiles.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia realizado con Word.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica, representa uno de los grandes beneficios y avances que la humanidad ha descubierto, dando un paso hacia adelante en el tema del uso de fuentes renovables y a la conservación de los recursos del planeta.

7.1.1. La energía fotovoltaica a través de la historia

A través de la historia de la humanidad, la energía proveniente del sol ha estado presente en la vida del planeta. Esta fuente de energía ha sido indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta. A lo largo de su historia, la humanidad ha ingeniado nuevas maneras de aprovechar la energía proveniente del sol. El sol es una de las fuentes naturales implicada en distintos procesos, que ha sido utilizado por distintas civilizaciones para su desarrollo. En un inicio se utilizó la energía de forma pasiva para encender el fuego y el desarrollo de la agricultura.

Los griegos fueron los primeros en utilizar la energía solar pasiva, como medio de calentamiento de las casas durante los inviernos. Así fue como dio inicio al concepto de arquitectura bioclimática. La idea era construir las casas con orientación hacia el sol, para aprovechar una fuente de iluminación natural.

Los romanos utilizaron la luz solar como un recurso para mantener cálidos sus hogares. Su técnica consistía en colocar vidrios en las ventanas a modo que

hiciera una función de lente de aumento de la energía, y esta calentara el interior de las casas.

Los egipcios fueron otra de las civilizaciones que se valieron de la energía solar, para iluminar las tumbas de los faraones por medio de la reflexión de la luz a través del uso de espejos de bronce.

Haciendo un repaso por la historia, se puede encontrar el nombre de Arquímedes entre los años 213 A.C. a 211 A.C., como uno de los precursores del uso de la energía solar. Este ingenio el uso de espejos llamados ustorios, los cuales concentraban la energía solar en punto en el cual eran enfocados. Esta idea fue utilizada como arma de guerra para incendiar los barcos romanos. La técnica fue empleada años más tarde por Lavoisier. A Lavoisier se le atribuye la invención del horno solar en el año de 1,792, la cual consistía en la concentración de energía solar a través de dos lentes que la centraban en un foco. Esta energía concentrada fue utilizada para fundir metales (La energía solar, 2020).

Fue hasta el año de 1,839, que el efecto fotovoltaico fue reconocido por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel (HOGARSENSE, 2,021). A él se le atribuyen distintos estudios sobre el magnetismo, la óptica, pero son sus estudios sobre el espectro solar los que dieron inicio al descubrimiento de la energía fotovoltaica. Años más tarde fue Charles Fritts (BIBLUS, 2,021) quien en 1,883 construyó la primera celda solar. Esta fue construida utilizando como semiconductor el Selenio y una delgada capa de oro. Su eficiencia energética llegó a alcanzar un 1 %, pero permitió el avance en el desarrollo del campo de la conversión de la energía solar a eléctrica.

Las placas de silicio utilizadas hoy en día fueron descubiertas por Russell Ohl (Foro histórico, 2,020) en el año de 1,940. Fue en los laboratorios Bell, donde

se encontró que el Silicio al contener impurezas era muy sensitivo a los rayos solares.

En el año de 1,954 (HOGARSENSE, 2021) con los estudios realizados en células de Silicio, se logró una eficiencia del 6 % en la aplicación de paneles. En estos años fue utilizada por parte de la unión soviética y Estados Unidos en su carrera espacial para el diseño de satélites espaciales. En el año de 1,958 se aplicaron las células de Silicio para lanzar el Explorer 1, que fue el primer satélite que uso la tecnología.

En la actualidad, son muchos los usuarios de generación fotovoltaica para su consumo y distribución. Los gobiernos han hecho conciencia del impacto del ser humano al medio ambiente, por lo que promueven el uso de esta energía entre los ciudadanos. Desde su aplicación en los hogares hasta las grandes empresas quienes han invertido en el uso de estos sistemas para poder operar con un sistema que presenta bajos costos y es amigable con el medio ambiente.

7.2. Energía Solar en Guatemala

La generación de energías renovables en Guatemala tuvo un avance considerable, desde la aprobación de la ley general de electricidad, la cual fue aprobada en la década de los noventa. Esta ley ayudo a que se desarrollara un mercado eléctrico competitivo y que pudiera cubrir las necesidades de la población guatemalteca de manera eficiente. Desde un punto de vista demográfico se puede decir que Guatemala es una zona en la cual pueden desarrollarse los sistemas de energía fotovoltaica. “El valor promedio anual de radiación solar global para todo el país es de 5.3 kWh/m²/día” (MEM, 2,018, Energía solar en Guatemala, página 2).

Hoy, ya existen algunas empresas que decidieron instalar su propio sistema de generación de energía fotovoltaica. Las ventajas que ofrece Guatemala a través de su política permiten exoneraciones fiscales y facilidades de operación lo que cada vez hace más atractivo para las empresas, el querer utilizar los sistemas fotovoltaicos. Se pueden encontrar su aplicación en distintas industrias como la agrícola, la textil y la manufacturera.

Se pueden encontrar diferentes esquemas de financiamiento, para las empresas que deciden generar energía eléctrica por medio de un sistema fotovoltaico. Desde inversiones en CAPEX (inversiones en bienes de capital) hasta el arrendamiento. Empresas como Enertiva ofrecen otro tipo de esquema donde se realiza un contrato de venta de energía a largo plazo (Enertiva, 2,022). Esta opción tiene como finalidad el evitar que el cliente invierte en costos de operación y mantenimiento.

Empresas como Fogel, son ejemplo de aquellos esquemas donde se realiza un contrato de venta de energía a largo plazo. Esta empresa firmo un contrato para poder instalar paneles solares y así poder alimentar la planta que opera en la República de Guatemala. El contrato fue firmado con el proveedor del servicio Enertiva. Se pueden encontrar por otra parte empresas como *Town Nutrition*, quienes instalan, operan y proporcionan el mantenimiento de su propio sistema (Enertiva, 2,022). El sistema instalado genera el 100 % de la energía que se utiliza para la planta que opera en Guatemala.

7.2.1. Centrales Solares de Generación en Guatemala

La producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del recurso solar en el Sistema Nacional Interconectado -S.N.I.-, dio inicio con la

incorporación de la central solar fotovoltaica con una potencia efectiva de 5.0 MW, el 1 de mayo de 2014. (MEM, 2018)

A continuación, se detallan las centrales fotovoltaicas que se encuentran operando dentro de la República de Guatemala:

- Central Solar Fotovoltaica SIBO

Instalada por SIBO, esta central alcanza a generar 5.0MW de potencia efectiva. Se localiza en el departamento de Zacapa, en el municipio de Estanzuela. Su fecha de inicio de operación es el 1 de mayo de 2014.

- Proyecto Planta Fotovoltaica de 50 MW (Horus I)

Proyecto llevado a cabo por Anacapri, esta planta alcanza una potencia efectiva de 50.0 MW. Localizada en el departamento de Santa Rosa. Su fecha de inicio de operación es el 9 de febrero de 2015.

- Horus II

Segundo proyecto realizado por parte de Anacapri, esta central alcanza valores de 30.0 MW de potencia efectiva. Al igual que el proyecto Horus I, está localizada en el departamento de Santa Rosa. Su fecha de inicio de operación es el 26 de julio de 2015.

- Granja Solar La Avellana

Proyecto realizado por parte Tuncaj, esta central alcanza una potencia nominal de 1.0 MW, se encuentra localizada en el departamento de Santa Rosa. Su fecha de inicio de operación es el 15 de marzo de 2017.

- Granja Solar Taxisco

Realizado por parte de Tuncaj, la central de generación cuenta con una potencia efectiva de 1.5 MW. Localizada en el departamento de Santa Rosa y con fecha de inicio de operación el 15 de marzo de 2017.

- Granja Solar El Jobo

Proyecto realizado por Tuncaj, alcanza una capacidad de generación de potencia efectiva de 1.0 MW. Localizada en el departamento de Santa Rosa. Su fecha de inicio de operación es el 15 de marzo de 2017.

- Granja Solar Pedro de Alvarado

Realizado por parte de Tuncaj, esta central alcanza una potencia efectiva de 1.5 MW. Localizada en el departamento de Jutiapa. Su fecha de inicio de operación es el 15 de marzo de 2017.

- Granja Solar Buena Vistas

Central instalada por Tuncaj, tiene capacidad de generación de potencia efectiva de 1.5 MW. Localizada en el departamento de Jutiapa. Su fecha de inicio de operación es el 30 de agosto de 2017.

Estas centrales de generación fotovoltaica son un ejemplo del avance que ha tenido el país de Guatemala al largo de los años, en su esfuerzo por contar con fuentes de energía renovable. La creación de leyes que incentiven el uso de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica ha sido un impulso para que sean más los generadores que inviertan en los sistemas fotovoltaicos y abastezcan el mercado mayorista. La suma de las centrales anteriormente mencionadas alcanza un total de 91.5 MW de generación de potencia efectiva.

Tabla II. Proyectos de generación de energía fotovoltaica en operación

Proyecto	Ubicación	Capacidad efectiva, en MW
Central Solar Fotovoltaica SIBO	Estanzuela, Zacapa	5.0
Proyecto Planta Fotovoltaica de 50 MW (Horus I)	Chiquimulilla, Santa Rosa	50.0
Horus II	Chiquimulilla, Santa Rosa	30.0
Granja Solar La Avellana	Taxisco, Santa Rosa	1.0
Granja Solar Taxisco	Taxisco, Santa Rosa	1.5
Granja Solar El Jobo	Taxisco, Santa Rosa	1.0
Granja Solar Pedro de Alvarado	Moyuta, Jutiapa	1.5
Granja Solar Buena Vista	Jutiapa, Jutiapa	1.5
Total		91.5

Fuente: MEM, 2,018, Energía solar en Guatemala.

7.2.2. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, decreto número 52-2003 y su reglamento acuerdo gubernativo no. 211-2005.

Esta ley establece los incentivos administrativos, económicos y fiscales que el gobierno de Guatemala otorga a todos aquellos individuos o empresas, que desarrollen un proyecto de energía renovable. La ley pretende fomentar el uso de las fuentes de energía renovable para disminuir el uso de fuentes contaminantes.

Dentro de los incentivos que esta ley plantea se pueden encontrar los siguientes puntos:

- Todos los equipos destinados al uso de la generación de energía renovable, que sean importados a la República de Guatemala están exentos de derechos arancelarios, IVA, cargas y derechos consulares.
- A las personas individuales y jurídicas se les exime del pago ISR, por un periodo de diez años siempre y cuando sean la parte que desarrolla el proyecto y solo para lo que corresponda al proyecto de generación de energía renovable.
- Exención del impuesto a la empresas mercantiles y agropecuarias (IEMA) por un período máximo de diez años.

7.2.3. Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía – NTGDR-, resolución cnee-227-2014.

Esta norma fue aprobada en el año 2,014 para establecer los lineamientos y disposiciones que deben de seguir todos los distribuidores, generadores distribuidos renovables y usuarios auto productores con excedentes de energía dentro del territorio de la Republica de Guatemala.

Por definición un generador distribuido renovable, es toda aquella unidad generadora y/o sistema de almacenamiento de energía eléctrica trifásico, que pueden totalizar hasta 5 MW de potencia nominal. Esta norma tiene dentro de sus objetivos el incentivar el uso de recursos renovables de manera responsable, para la generación de energía eléctrica. La norma en sí regula la competencia

dentro del mercado de la generación y ayuda a la reducción de los precios de la energía eléctrica, dentro de un mercado de precios volátiles.

Los generadores distribuidos renovables se dividen en dos tipos según la norma:

- Tipo A: Aquellos que demuestran a través de simulaciones de flujo de carga, que la variación producida por la desconexión intempestiva del generador no excede el 2.5 % de la tensión nominal para valores mayores a 30KV, 3 % para valores menores a 30 KV.
- Tipo B: Aquellos generadores con una potencia nominal menor a los 100 MW.

La norma define como Usuario Auto productor con Excedentes de Energía, 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.

7.3. Beneficios de la aplicación de la energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica tiene muchos beneficios. Los beneficios principales pueden ser el hecho de que produce energía renovable, de un mantenimiento económico y amigable con el medio ambiente. Pero la aplicación de un sistema de energía fotovoltaica tiene beneficios adicionales, como el que el hecho de que no generan ningún tipo de contaminación acústica. El sol es una fuente de energía natural e ilimitada por lo que, con la correcta instalación, se puede contar con una fuente que cubra las necesidades de una nave industrial.

Con el paso del tiempo, los costos por instalación de los paneles solares se han visto reducidos conforme más empresas adoptan este tipo de generación y hay mayor disponibilidad de ofertantes en el mercado.

Los sistemas de generación de energía fotovoltaicos no emiten gases de invernadero. La disponibilidad actual de los componentes a nivel mundial y el bajo costo de mantenimiento, hacen que este sistema tenga un retorno sobre la inversión en un mediano plazo.

Cabe mencionar que el sol es una fuente de energía inagotable a diferencia de los combustibles fósiles, los cuales, además, generan gases de invernadero que dañan la capa de ozono. Tomando en cuenta la fuente de la cual se alimentan los sistemas fotovoltaicos, la generación de energía eléctrica, por medio de estos sistemas puede llegar a ser ilimitada con el correcto análisis y diseño.

En la actualidad, las fuentes renovables ofrecen un menor costo de operación, que las fuentes de energía convencionales en la mayor parte del mundo. Al ser un tema de preocupación para las naciones, alrededor del globo se han creado políticas que faciliten la instalación de los sistemas de generación renovables, de esta manera, ya son más las fuentes que proveen energía eléctrica generada por éstas, llegando a reemplazar el uso de las generadoras que tienen un mayor impacto ambiental. Con todo esto, las fuentes de energía renovable representan una fuente que genera mayor rentabilidad, al ser de menor costo y no tienen un impacto en el ambiente.

Dentro de todas las ventajas que se han mencionado con anterioridad, se puede mencionar también que los sistemas de generación fotovoltaica no

generan contaminación acústica, los elementos que se cambian en estos sistemas pueden ser reutilizables, y los sistemas pueden ser híbridos por lo cual, al momento de no tener suficiente capacidad de generación autóctona, se puede mantener una alimentación hacia la red convencional.

Por todo lo mencionado se puede concluir que la generación de energía eléctrica, por medio de los sistemas fotovoltaicos, son una solución para las empresas que deseen disminuir sus costos y el impacto que sus operaciones tienen hacia el medio ambiente.

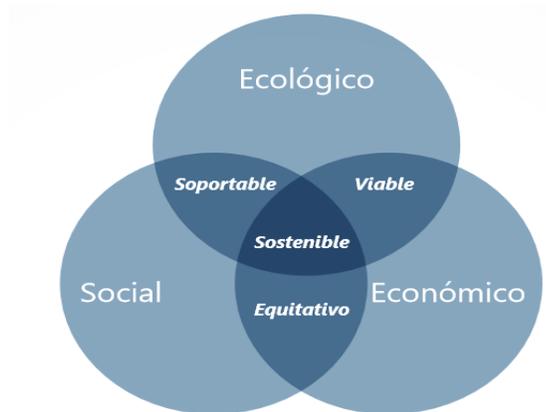
7.4. Pilares de sostenibilidad

El concepto de desarrollo sostenible propone tres pilares por medio de los cuales se puede evaluar una empresa de manera macro: lo económico, lo social y lo ambiental, al unir los tres pilares se obtiene como resultado las dimensiones de sostenibilidad, lo equitativo, lo soportable y lo viable.

A través de estos pilares se evalúan la sostenibilidad de una empresa. Es esencial que los tres pilares se complementen entre sí, para que las actividades de una empresa sean rentables, aporten al desarrollo social y no afecten el medio ambiente. Cada pilar está enfocado en distintos contextos que buscan sustentarse entre sí.

La comprensión y correcta implementación de cada concepto dentro de la filosofía de una organización impulsan un desarrollo sostenible a lo largo del tiempo. Es importante comprender que no puede existir un desarrollo sostenible, si uno de estos pilares no se implementa de manera correcta.

Figura 2. **Los pilares de la sostenibilidad**



Fuente: Castaño Martínez, 2,013, Los tres pilares del desarrollo sostenible.

7.4.1. Pilar económico

Todas las empresas tienen un objetivo, pero aquellas que buscan el lucro, buscan que sus beneficios al final de cada ejercicio contable sean mayores cada año. Cada vez son más las empresas que invierten en nuevas tecnologías, para que sus procesos sean más competitivos y se genere un mayor volumen de producción.

El objetivo del pilar económico es impulsar un beneficio dentro de las empresas, pero que sea compatible con los otros dos pilares, es decir que la empresa pueda subsistir sin generar un impacto en lo social y lo económico.

Para tener bien cimentado este pilar, es necesario analizar y hacer un balance en el uso de los recursos de la empresa y como estos contribuyen en el objetivo económico sin derrumbar los otros dos pilares.

7.4.2. Pilar ambiental

Este pilar es creado con el concepto de que las empresas deben de trabajar con el mejor de uso de los recursos naturales, que sean renovables y no renovables. Los sistemas de proceso deben de ser cíclicos, buscando el generar sus propios recursos, que alimenten las entradas de insumos.

El fin óptimo de este pilar es que todos los recursos consumibles dentro del proceso productivo sean generados dentro del proceso para alimentarlo y que este genere cero residuos.

7.4.3. Pilar social

El desarrollo sostenible tiene como tercer pilar la sociedad. El sentar las bases que den paso a una generación futura, que cuente con una economía solididad, un medio ambiente limpio y una sociedad equilibrada es el objetivo principal que desea alcanzar.

Las operaciones desarrolladas por una empresa deben de ir enfocadas a su vez a tener un impacto positivo, dentro de la comunidad donde reside. Son muchos los casos donde la contaminación, consumo desmesurado y la no renovación de los recursos naturales impactan de manera negativa el desarrollo de toda una comunidad.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Energía fotovoltaica

2.1.1. La energía fotovoltaica a través de la historia

2.2. Energía solar en Guatemala

2.2.1. Centrales solares de generación en Guatemala

2.2.2. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, decreto número 52-2003 y su reglamento acuerdo gubernativo no. 211-2005

2.2.3. Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios auto productores con excedentes de energía -NTGDR-, resolución CNEE-227-2014

2.3. Beneficios de la aplicación de la energía fotovoltaica

2.4. Pilares de la sostenibilidad

2.4.1. Pilar económico

2.4.2. Pilar ambiental

2.4.3. Pilar social

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Análisis del consumo energético del área

3.1.1. Medición de valores de entrada en el sistema actual

3.1.2. Determinación de la variación de los costos de la energía proveniente del mercado mayorista

3.1.3. Cálculo de costos del consumo actual

3.2. Estudio de irradiación solar

3.2.1. Análisis de la distribución de planta

3.2.2. Medición de los valores de irradiación

3.2.3. Obtención de la hora solar pico

3.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

3.3.1. Dimensionamiento de número de paneles

3.3.2. Dimensionamiento del inversor

3.3.3. Puesta a tierra

3.3.4. Selección del contador bidireccional

3.3.5. Protecciones

3.3.6. Puesta a tierra

3.3.7. Selección de tableros o caja de paso

3.4. Diseño del sistema

3.5. Plan de instalación

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis financiero

4.1.1. Cálculo del presupuesto

4.1.2. Valor presente neto

4.1.3. Tasa interna de retorno TIR

4.1.4. Retorno de la inversión ROI

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Se presenta a continuación la ruta de investigación, que tomará el proyecto de graduación, desde su fase de investigación hasta su fase de desarrollo.

9.1. Características del estudio

El estudio tendrá las siguientes características:

9.1.1. Enfoque

El enfoque del trabajo de investigación está orientado hacia determinar que la instalación de un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica puede cubrir la demanda de las luminarias en la nave industrial seleccionada, siendo rentable para la empresa y pudiendo ser adaptado según el diseño de la planta.

9.1.2. Alcance

El alcance del presente trabajo es determinar la factibilidad de la instalación del sistema, determinar el sistema que más se adecua a las necesidades de la empresa, realizar un diseño preliminar y proponer un plan de instalación. Dado que todavía este sujeto a evaluación por parte de la empresa para su aprobación, no se incluirán los resultados de la instalación del sistema.

9.1.3. Diseño

El diseño de la investigación es no experimental, ya que la información de la capacidad del sistema para generar la suficiente energía eléctrica que se demanda en la nave industrial será teórica. Las condiciones ambientales serán medidas para generar datos promedio de la irradiación solar en la zona elegida.

9.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis será la nave industrial, de esta se espera obtener la necesidad de energía eléctrica que demandan las luminarias y en base al diseño se seleccionara el sistema que mejor se ajuste.

9.3. Variables

Las variables de estudio se describen a continuación:

Tabla III. **Unidad de análisis**

Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Determinación del costo de energía eléctrica consumida en la nave industrial	Costo de energía eléctrica: costo incurrido en el consumo de energía eléctrica para mantener en funcionamiento equipos	Costo de la energía utilizado para mantener en funcionamiento las luminarias en la nave industrial	Costo de consumo de energía eléctrica

Continuación tabla III

Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Medición de energía demandada en la nave industrial	Energía demandada: consumo de energía eléctrica utilizada para mantener en funcionamiento las luminarias	Determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para mantener la iluminación en la nave industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de Kilowatt demandado por hora
Determinación de las condiciones ambientales y distribución de la planta	Condiciones ambientales: condiciones climáticas a las cuales se encuentra expuesta una zona	Se determinará la irradiación solar en el área alrededor de la nave industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de irradiación solar por área cuadrada • Mapa de distribución de planta
Cálculo de los costos del sistema fotovoltaico y de instalación	Sistema fotovoltaico: conjunto de equipos que sirven para aprovechar la energía solar y convertirla en electricidad	Determina los componentes necesarios para alimentar de energía eléctrica la nave industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de los componentes del sistema • Costo de instalación del sistema
Cálculo de los costos y procedimientos de mantenimiento del sistema fotovoltaico	Costos por mantenimiento: costos destinados a la conservación y restauración de equipos	Determina los costos del mantenimiento preventivo de los componentes del sistema, los costos correctivos y su periodicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de mantenimiento • Procedimientos de mantenimiento

Fuente: elaboración propia, realizada con EXCEL.

9.4. Fases de estudio

A continuación, se describen las fases del desarrollo del trabajo de investigación:

9.4.1. Fase 1: Análisis del consumo de energía para el área

En esta fase se analizará el consumo de energía por hora para la nave industrial seleccionada. Se determinará la cantidad de luminarias y el consumo requerido por hora; así como, los horarios en los cuales se requiere que éstas estén en funcionamiento. Los datos serán obtenidos por medio de la observación periódica del área y se estudiará el tipo de luminarias que se utilizan.

9.4.2. Fase 2: Cálculo del costo del consumo de energía

Esta fase determinará cual es el costo del consumo de energía en el cual se incurre con el sistema actual. Se analizará el costo de la energía a través de un año y sus variaciones, de acuerdo con las fuentes de las cuales proviene del mercado mayorista a lo largo de las distintas estaciones del año. Para recopilar la información, se consultará con el jefe de servicios de planta, para que provea los históricos de la tarifa a la cual se obtiene la energía proveniente del mercado mayorista.

9.4.3. Fase 3: Análisis de la distribución de planta

En esta fase, se hará un análisis de la distribución de la planta, con el propósito de determinar el área que más se adecue para la instalación del sistema de generación fotovoltaica. Esto será un análisis preliminar previo para determinar los componentes del sistema. Se consultará la información con el jefe

de obra civil de planta, para obtener los planos de la nave industrial y sus alrededores.

9.4.4. Fase 4: Medición de los valores de irradiación en el área

En esta etapa se determinarán los valores de radiación solar en el área seleccionada. La energía solar, como fuente principal de la alimentación del sistema, servirá para determinar la capacidad de generación de energía eléctrica por medio del sistema fotovoltaico. Los datos serán obtenidos por medio de medidores de radiación solar, a lo largo de distintos períodos a modo de detectar las variaciones que se pueden presentar de acuerdo con las condiciones climáticas.

9.4.5. Fase 5: Dimensionamiento y determinación de los componentes

En esta etapa se determinará el tipo de sistema fotovoltaico, que se acopla mejor a las condiciones e información obtenida en las etapas anteriores. Se seleccionarán los elementos que conformarán el sistema, así como su dimensión de acuerdo con la capacidad requerida. Se buscarán proveedores locales que puedan ofrecer los componentes necesarios y que puedan proveer el servicio técnico requerido después de su instalación.

9.4.6. Fase 6: Diseño del sistema autónomo

En esta etapa se diseñará la distribución de los componentes para su instalación en el área, haciendo uso del plano obtenido de la distribución de planta. Se buscará la ubicación donde se pueda alimentar la red de la nave industrial y se capte la radiación solar necesaria para alimentar el sistema.

9.4.7. Fase 7: Diseño de la conexión a la red

En esta etapa se propondrá un plan preliminar, donde se especificarán los pasos para la conexión del sistema a la red. Se analizará la información junto al jefe de servicios del área para revisar los pasos y elementos requeridos para conectar el sistema a la red de la planta.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La investigación se desarrollará buscando los datos históricos de consumo de energía y su costo mensual. Se medirá el consumo teórico en base al tipo de luminarias instaladas. Se compararán los datos con mediciones de voltaje en las luminarias y se convertirá el dato a Kilowatts, para hacer una comparación entre los datos teóricos y los reales.

Se ponderarán los datos de consumo para calcular la demanda por hora y el costo del consumo dentro de la nave industrial. Para el cálculo del costo se utilizarán los datos de los históricos, tomando en cuenta la variación del costo de la energía proveniente del mercado mayorista, tomando en cuenta la variación que se presenta por las fuentes de las cuales pueda proceder por el cambio de estación.

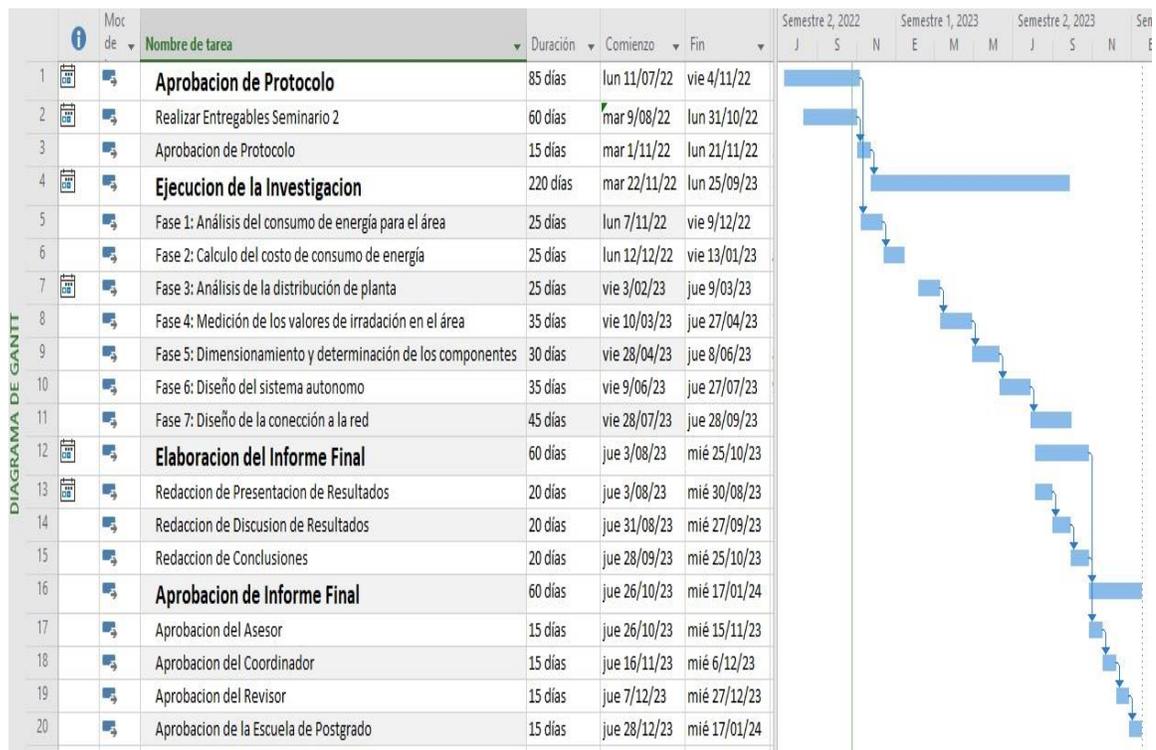
Se analizará la distribución de la planta en base a los planos, para determinar el área preliminar donde puede ser instalado el sistema autónomo fotovoltaico. Se procederá después a realizar la medición de la radiación solar en el área seleccionada, para por un período de tiempo para calcular el valor promedio.

La información obtenida servirá para seleccionar el tipo de sistema, que mejor se acople a la demanda del área con las condiciones ambientales y la distribución de planta y para dimensionar el tamaño de los componentes necesarios.

11. CRONOGRAMA

Para el desarrollo de la investigación se presenta el siguiente cronograma de actividades:

FIGURA 3. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia realizada con Project.

12. ACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Presupuesto

A continuación, se presenta el presupuesto estimado para la elaboración del diseño del sistema de generación fotovoltaica:

Tabla IV. Presupuesto de la investigación

ítem		Cantidad	Costo	Fuente de financiamiento
Recurso Humano	Asesor	1	Q0.00	No aplica
	Personal administrativo y técnico de planta	8	Q0.00	No aplica
Recursos materiales	útiles y papelería	1	Q750.00	Propia
Recursos tecnológicos	Computadora	1	Q7,000.00	Propia
	Internet	-	Q300.00	Propia
Equipo de medición	multímetro	1	Q1,220.00	Propia
	Medidor de radiación solar	1	Q2,400.00	Propia

Fuente: elaboración propia.

El presupuesto será cubierto por el investigador en un 100 % siendo el total de Q11,670.00.

13. REFERENCIAS

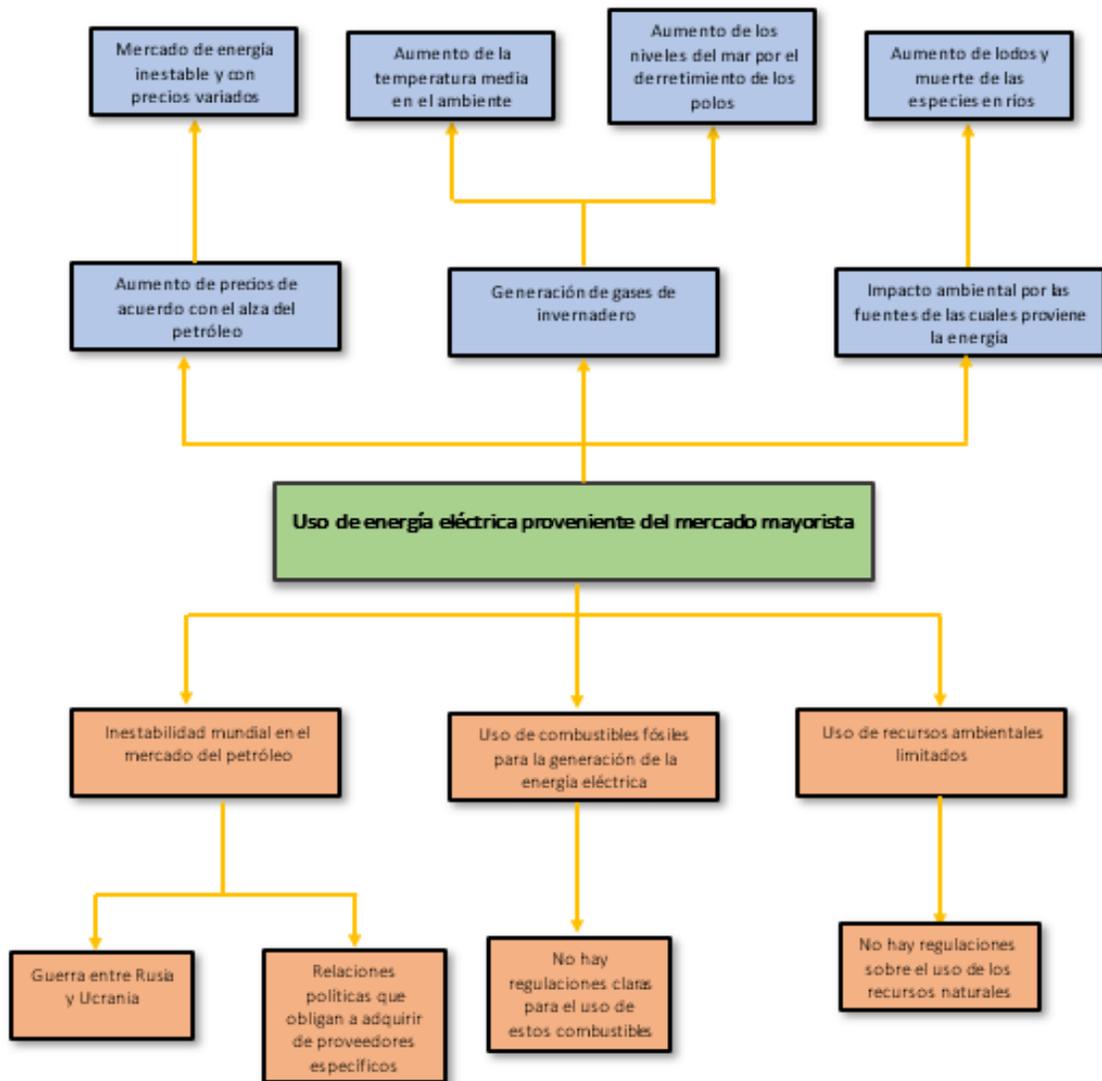
1. Acciona. (2020). *Acciona*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894
2. Andusolar. (25 de marzo de 2020). *Andusolar*. Obtenido de <https://www.andusolar.es/historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica>
3. Castaño Martínez, C. (2013). *Los pilares del desarrollo sostenible*. Bogota.
4. Comisión nacional de energía eléctrica. (2,014). NORMA TÉCNICA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE Y USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA.
5. Eléctrica, C. n. (2,014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía*.
6. *Enchufe solar*. (s.f.). Obtenido de *Enchufe solar*: <https://enchufesolar.com/blog/ventajas-solar-fotovoltaica/>
7. *Enertiva energía alternativa*. (2,022). Obtenido de <https://enertiva.com/5-empresas-optan-por-producir-su-propia-energia-solar-guatemala/#:~:text=Kimberly%20Clark%20y%20Agron%C3%B3micos%20de%20Guatemala%20son%20una,que%20producen%20su%20propia%20energ%C3%ADa%20solar%20en%20Guatemala.>

8. Histórico, F. (2,020). *Foro histórico*. Obtenido de <https://forohistorico.coit.es/index.php/personajes/personajes-internacionales/item/ohl-russell>
9. HOGARSENSE. (2,021). *HOGARSENSE*. Obtenido de <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar-fotovoltaica>
10. ISO. (2015). *SIGI*. Obtenido de https://sigi.sic.gov.co/SIGI/files/mod_documentos/anexos/801/NORMA%20ISO%2014001.2015.pdf
11. *La energía solar* . (2,021). Obtenido de <https://laenergiasolar.org/historia-de-la-energia-solar/>
12. Marketing, C. (23 de junio de 2022). *Republica*. Obtenido de <https://republica.gt/agenda-empresarial/energia-solar-una-opcion-atractiva-en-guatemala-202262316430>
13. MEM, M. d. (2018). *Energía Solar en Guatemala*. Guatemala.
14. Minas, M. d. (2022). *MEM*. Obtenido de <https://mem.gob.gt/energia/estadisticas-energia/estadisticas-energeticas/>
15. Ministerio de energía y minas. (2,003). Decreto 52-2003 Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable; Acuerdo gubernativo No.211-2005 Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de energía renovable.

16. Miranda, K. (2016). Implementación de la energía solar en la vivienda guatemalteca. Guatemala, Guatemala.
17. Planas, O. (16 de Diciembre de 2015). *Energía Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>
18. Ponce, M. (2,019). La energía solar fotovoltaica distribuida y las SMART GRID como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador. Madrid , España.
19. Santos, D. B. (2,021). *Biblus*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTR+ODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>
20. Torre, L. L. (2022). Diseño en implementación de un sistema de energía renovable por medio de paneles solares en la comunidad de masa 2. Guayaquil , Ecuador.

14. APÉNDICE

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia, elaborado con Word.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

PROBLEMA					
Consumo de energía eléctrica proveniente del mercado mayorista, en donde los precios son volátiles.					
Preguntas	Objetivos	Variables	Indicadores	Técnicas e instrumentación	Metodología
¿Cómo implementar un sistema de generación de energía fotovoltaica que cumpla con las necesidades de la nave industrial?	Implementar un sistema de generación de energía fotovoltaica que suministre la cantidad suficiente de energía eléctrica para cubrir alimentar la iluminación en una nave industrial	1. Factores climáticos 2. Distribución del área	1. Costo del consumo de energía actual	Tarifas de la energía proveniente del mercado mayorista	Revisión de datos históricos de tarifa de energía eléctrica para la planta
¿Cuánta energía es necesaria generar para mantener la iluminación en el área seleccionada?	Determinar la cantidad de energía necesaria para alimentar el área seleccionada y el horario específico	1. Horarios de funcionamiento de las luminarias	1. Consumo de energía eléctrica utilizado en el sistema de luminarias	Medición de los voltajes en las luminarias de la nave industrial	Determinación del número de luminarias Identificación del tipo de luminaria instalada
¿Cuál es el método que más se acopla a las condiciones actuales de trabajo?	Investigar el método de generación de energía fotovoltaica que más se aplique a las condiciones a las cuales se encuentra expuesta la planta	1. Cantidad de placas y dimensionamiento de los componentes necesarios	1. Descripción de la distribución de la planta 2. Datos de la irradiación solar en el área	1. Diagrama de distribución 2. Mediciones de irradiación	Reconocimiento del área física para la instalación del sistema Medición de la irradiación solar por horarios en el área seleccionada
¿Cuál es la inversión necesaria para alimentar el área seleccionada y en cuanto tiempo se dará el retorno sobre la inversión?	Determinar el costo de inversión y el horizonte del tiempo de retorno	1. Tipo de sistema fotovoltaico seleccionado y cantidad de energía capaz de generar	1. Costo de instalación del sistema 2. Costo de los componentes	1. Plano del diseño del sistema 2. Plan de interconexión a la red de la planta	Elaboración de plano propuesto para el diseño del sistema Elaboración de plan de conexión
¿Qué mantenimiento requiere este tipo de sistemas y cual la periodicidad en la cual se le debe dar?	Establecer el costo del mantenimiento del sistema que se pretende instalar	1. Proveedores disponibles para el abastecimiento de los componentes y el servicio técnico	1. Costo de mantenimiento preventivo y correctivo	1. Comparación de precios de los componentes en el mercado	Validación de proveedores de los componentes y servicios técnicos

Fuente: elaboración propia realizada con EXCEL.