



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN TÉCNICA-FINANCIERA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL  
ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO**

**Luis Martín de León Osorio**

Asesorado por el M.A. Ing. Josué Miguel Ramírez Lemus

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN TÉCNICA-FINANCIERA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL  
ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS MARTÍN DE LEÓN OSORIO**

ASESORADO POR EL M.A. ING. JOSUÉ MIGUEL RAMÍREZ LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Oscar Argueta Hernández
EXAMINADORA	Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN TÉCNICA-FINANCIERA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL  
ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

**Luis Martín De León Osorio**



**EEPFI-PP-0106-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**Armando Fuentes Roca**  
**Escuela De Ingenieria Civil**  
**Presente.**

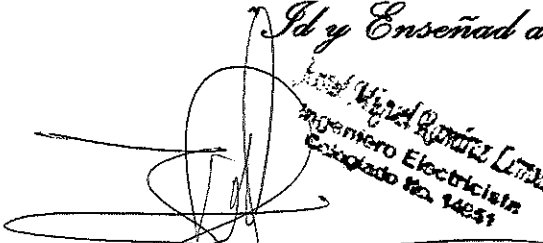
**Estimado Mtro. Fuentes**


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

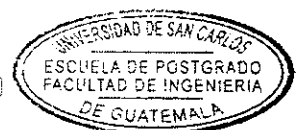
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE EVALUACIÓN TÉCNICA FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Servicios públicos municipales - Propuesta de mejoramiento de los servicios públicos municipales**, presentado por el estudiante **Luis Martín De León Osorio** carné número **200611432**, 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 Ingeniería Para El Desarrollo Municipal.

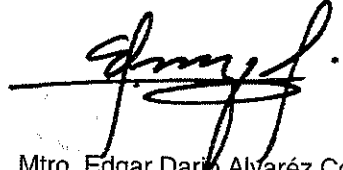
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para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

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*  
  
José Miguel Ramírez Lemus  
Ingeniero Electricista  
Especializado No. 14251  
Mtro. José Miguel Ramírez Lemus  
Asesor(a)

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



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





EEP.EIC.0106.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil 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 EVALUACIÓN TÉCNICA FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Martín De León Osorio**, 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 Fuentes Roca  
Director  
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, enero de 2022





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

LNG.DECANATO.OI.492.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN TÉCNICA-FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES PARA ALUMBRADO PÚBLICO PARA EL ÁREA URBANA DE LA ZONA 9, MUNICIPIO DE MIXCO**, presentado por: **Luis Martín de León Osorio**, 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, julio de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mi madre** Isabel Osorio. Por su inmenso cariño, por mostrarme el camino a Dios, por ser el apoyo fundamental en mi vida.
- Mis hermanos** José y Ernesto Osorio. Por su apoyo incondicional y su deseo de verme triunfar alcanzando mis metas.
- Sobrinos** Que este sea un ejemplo para ellos y una inspiración de luchar por sus sueños.
- Toda mi familia** Por ser un importante apoyo, en mi carrera y en muchos ámbitos más, por estar siempre cada vez que los necesite.
- Mis amigos** Por su apoyo en todo momento y saber que puedo contar con ellos en cada etapa de mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme fuerza y aliento en los momentos difíciles, porque sin Él nada soy.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por cederme la oportunidad de alcanzar un objetivo más en mi vida.
<b>Escuela de estudios de Postgrado</b>	Por haberme formado como profesional.
<b>Mis amigos de la Escuela de Postgrado</b>	Con quienes pasé desvelos, alegrías y tristezas, por brindarme su amistad.
<b>Mi asesor</b>	M.A. Ing. Josué Ramírez, por compartir de su tiempo y conocimiento en la realización de esta tesis.
<b>Alcalde Auxiliar de la Zona 9 de Mixco</b>	Tito Macario por su colaboración y apoyo oportuno en la realización de esta tesis.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Preguntas de investigación.....	8
3.1.1. Pregunta principal.....	8
3.1.2. Preguntas secundarias .....	8
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.....	17
7.1. Energías renovables.....	17
7.2. Tipos de energías renovables .....	17

7.2.1.	Energía solar .....	17
7.2.2.	Energía eólica .....	18
7.2.3.	Energía hidráulica .....	18
7.2.4.	Energía geotérmica .....	18
7.2.5.	Energía mareomotriz .....	19
7.2.6.	Energía undimotriz .....	19
7.3.	Características de la energía solar.....	19
7.4.	Importancia de la energía solar .....	20
7.5.	Ventajas de la energía solar.....	20
7.5.1.	Radiación solar.....	21
7.5.2.	Radiación directa.....	21
7.5.3.	Radiación difusa.....	21
7.5.4.	Radiación albedo.....	21
7.6.	Sistemas de iluminación.....	22
7.6.1.	Alumbrado público con paneles solares .....	22
7.6.1.1.	Qué es un panel solar .....	23
7.6.1.2.	Evolución de los paneles solares .....	24
7.6.1.3.	Tecnologías para energías solares .....	26
7.6.1.4.	Sistemas de baterías.....	30
7.6.1.5.	Tipos de batería .....	32
7.6.1.6.	Iluminación .....	33
7.6.1.7.	Tipos de luminarias solares.....	34
7.6.1.8.	Cantidad de luz apropiada.....	35
7.6.1.9.	Intensidad de luz .....	36
7.6.1.10.	Características generales de los equipos con paneles solares .....	36
7.6.1.11.	Ventajas .....	37
7.6.1.12.	Desventajas.....	38
7.7.	Marco legal.....	38

7.7.1.	Ley General de Electricidad.....	38
7.7.2.	Desarrollo sostenible .....	39
7.7.3.	Protocolo de Kioto .....	39
7.7.4.	Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.....	40
7.7.4.1.	Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.....	40
7.7.5.	Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable .....	41
7.7.6.	Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable .....	42
7.8.	Marco geográfico .....	42
7.8.1.	Descripción de la zona 9 de Mixco .....	42
7.8.2.	Historia de la zona 9 de Mixco.....	43
7.8.3.	Localización .....	43
7.8.4.	Vías de acceso .....	44
7.8.5.	Colindancias .....	45
7.9.	Marco financiero .....	45
7.9.1.	Valor Presente Neto .....	45
7.9.2.	Costo/beneficio .....	46
7.9.3.	Tasa Interna de Retorno TIR .....	46
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	49
9.	METODOLOGÍA.....	53
9.1.	Tipo de estudio .....	53
9.2.	Fases del estudio .....	53

9.3.	Fase 1: exploración bibliográfica y desarrollo del marco teórico .....	53
9.4.	Fase 2: recolección documental.....	54
9.5.	Fase 3: análisis económico de la propuesta .....	57
9.6.	Fase 4: entrega final.....	58
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	59
11.	CRONOGRAMA .....	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	63
13.	REFERENCIAS .....	65
14.	APÉNDICES .....	71

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Funcionamiento de un panel solar .....	24
2.	Paneles solares en tándem.....	27
3.	Paneles flotantes.....	28
4.	Árboles solares .....	29
5.	Agro voltaica .....	30
6.	Gráfico de vida útil en ciclos y profundidad de descarga de baterías estacionarias.....	32
7.	Luminaria tipo independiente todo en uno .....	34
8.	Luminarias centralizadas.....	35
9.	Mapa del municipio de Mixco.....	44
10.	Cronograma preliminar de actividades.....	61

### TABLAS

I.	Iluminación apropiada .....	36
II.	Monto destinado al alumbrado público.....	54
III.	Especificaciones generales de luminarias con paneles solares.....	55
IV.	Especificaciones de paneles solares.....	55
V.	Especificaciones de paneles baterías .....	56
VI.	Especificaciones de luminarias .....	56
VII.	Comparativa de sistemas de iluminación.....	57
VIII.	Recursos necesarios para la investigación .....	63



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AC</b>	Corriente Alterna
<b>Ah</b>	Amperio hora
<b>Cd</b>	Candela
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>Lm</b>	Lumen
<b>N</b>	Norte
<b>W</b>	West (Oeste)
<b>w</b>	Watt
<b>w/m<sup>2</sup></b>	Watt por metro cuadrado (Vatio por metro cuadrado)
<b>kW</b>	Kilowatt (kilovatio)
<b>Lm/W</b>	Lumen/Watt
<b>Q</b>	Quetzal
<b>%</b>	Porcentaje





## GLOSARIO

<b>A.G.</b>	Acuerdo Gubernamental.
<b>AP</b>	Alumbrado Público.
<b>Alumbrado Público</b>	Servicio municipal destinado a la iluminación de espacios públicos y vías de circulación que se encuentran bajo dominio del municipio.
<b>C/B</b>	Costo/beneficio.
<b>Candela</b>	Unidad del flujo luminoso emitido por un iluminante en una cierta dirección.
<b>Ciclos de carga</b>	Número de veces en la que una batería puede ser cargada y descargada completamente.
<b>Costo/beneficio</b>	Relación que denota el beneficio obtenido tras la inversión en proyectos de carácter público o sin fines de lucro.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Desfogue</b>	Cota más baja de un complejo hidroeléctrico, sistema de alcantarillado o un cuerpo de agua, en punto en donde se regresa el agua al cauce natural del agua.

<b>Efecto invernadero</b>	Proceso en la que la radiación térmica absorbida por los gases producidos por efecto invernadero es irradiada a todas direcciones elevando la temperatura del planeta.
<b>Energía cinética</b>	Energía debida a un movimiento determinado.
<b>Energía potencial</b>	Energía que contiene un objeto o elemento dentro de sí y que depende de su posición respecto a otros objetos o elementos.
<b>Energía renovable</b>	Energía obtenida de fuentes naturales.
<b>Energía solar</b>	Resultado de la transformación directa de la radiación electromagnética a energía eléctrica por medio de paneles solares.
<b>Evaluación financiera</b>	Valoración del rendimiento económico referente a los gastos e ingresos basados en ciertos criterios económicos.
<b>Exención</b>	Efecto de eximir a una persona de una carga, culpa, obligación o compromiso.
<b>Factibilidad</b>	Determina la posibilidad de llevar a cabo un proyecto que se desea implantar donde se conoce si el resultado es favorable o no.

<b>Gases de efecto invernadero</b>	Gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo lo que constituye un aumento en la temperatura.
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero.
<b>Implementación</b>	Es la ejecución o puesta en marcha de una idea planteada.
<b>Incentivo</b>	Que impulsa a hacer o desear una cosa.
<b>Ley</b>	Regla o norma establecida por una autoridad superior para regular, de acuerdo con la justicia, algún aspecto de las relaciones sociales.
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado.
<b>LED</b>	<i>Light Emitting Diode.</i>
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible.
<b>Objetivos de Desarrollo Sostenible</b>	Objetivos mundiales enfocados en la reducción de la pobreza, protección de los recursos del planeta, y garantizar una vida digna para el 2030.
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>Panel solar</b>	Elemento que transforma por efecto fotovoltaico la radiación solar en energía eléctrica.

<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas de Desarrollo.
<b>Protocolo de Kioto</b>	Instrumento creado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global, pone en práctica lo acordado en la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático de 1997.
<b>Radiación solar</b>	Energía electromagnética emitida por el Sol.
<b>Reglamento</b>	Normas que desarrollan otras normativas de un rango jerárquico superior.
<b>S.f.</b>	Sin fecha.
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	Herramienta financiera útil para encontrar la tasa en la cual los ingresos equivalen a los costos, es decir la tasa en la que el VPN referente a los gastos e ingresos es igual a cero, con ello se obtiene la tasa requerida para reintegrar los montos de inversión.
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno.
<b>Valor Presente Neto</b>	El Valor Presente Neto consiste en transformar a una sola cantidad equivalente en el tiempo presente (hoy), los valores futuros.

<b>Vatio</b>	Unidad de medida de potencia que equivale a la potencia capaz de conseguir la producción de energía igual a un Joule por segundo.
<b>VPN</b>	Valor presente Neto.



## RESUMEN

La implementación de alumbrado público utilizando equipos que aprovechan la energía solar es actualmente un tema que está ganando protagonismo en el mundo, esto principalmente por varias razones, por ejemplo; la falta de cobertura de energía eléctrica, el compromiso ambiental en la reducción de gases de efecto invernadero, el uso de energías renovables, entre otros, en este caso se busca disminuir los costos generados por concepto de servicios de Alumbrado Público (AP).

Las municipalidades cada año destinan del presupuesto municipal un monto considerable al servicio de AP, esto limita los fondos municipales para atender otros temas relacionados al desarrollo del municipio, por lo que contar con una alternativa que promueva un ahorro en este rubro vendrá a promover no solo el uso de energía limpia y renovable, sino que también proveer alivio en el tema presupuestario municipal.

La presente investigación busca determinar si es factible la implementación de un sistema de alumbrado público empleando equipos con aprovechamiento solar, se realizará una comparativa del monto destinado al servicio de AP de años anteriores contra una evaluación técnica-financiera de la alternativa planteada a una proyección de 2 y 4 años, con ello se deducirá el costo/beneficio que supondrá la alternativa del servicio de AP.





## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades a cubrir por las municipalidades es el de alumbrado público, por lo que se requiere que se asigne en el presupuesto municipal un monto destinado a ello, este servicio representa un porcentaje considerable en el presupuesto anual, por lo que la finalidad del presente trabajo es encontrar una alternativa de alumbrado público que represente una disminución de egresos del presupuesto municipal para este servicio, cada necesidad en la población representa una inversión o un gasto según sea el caso, pero para ello la municipalidad debe contar con dichos fondos, por lo que atender este servicio significa que se debe limitar en otros proyectos, para que el presupuesto sea suficiente.

La tecnología actual en el ámbito energético ha tenido avances significativos en el aprovechamiento de las energías renovables en los últimos años, específicamente en el campo de la energía solar, por ellos, en el presente trabajo se desea evaluar técnica y financieramente si es factible la implementación de un sistema de alumbrado público alimentado por energía solar.

Se espera que la alternativa logre disminuir el monto presupuestario destinado al alumbrado público, además promueve el uso de energías limpias y renovables, que a su vez vendría a atender uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), propiamente el objetivo 7 y también a las Políticas de Desarrollo del Plan Nacional K'atun 2032 en el eje "Recursos naturales hoy y para el futuro", este trabajo además brindaría un panorama del costo/beneficio que representaría el cambio a esta nueva tecnología.

Para llevar a cabo la realización de este trabajo se recurre a una investigación de tipo cualitativa, descriptiva y documental no experimental, los datos financieros del monto presupuestario destinado al servicio de alumbrado público serán proporcionados por la municipalidad de Mixco, se realizará una investigación documental sobre equipos del tipo todo en uno que se encuentren en el mercado y que puedan ser empleados para alumbrado público alimentados por energía solar, el análisis financiero será realizado empleando las herramientas financieras VPN y costo/beneficio, los datos necesarios para la realización de esta investigación son de carácter público por lo que la factibilidad de este estudio es viable.

Este trabajo constará de cuatro capítulos, el primer capítulo sustentará la base teórica de esta investigación, el capítulo dos se centrará en el desarrollo investigativo y recolección de datos, el capítulo tres presentará el análisis financiero de la implantación de la alternativa adecuada y, por último, en el capítulo cuatro, se presentan los resultados y la discusión de los mismos, donde se definirá la factibilidad económica de la propuesta planteada.

## 2. ANTECEDENTES

Echavarria y Rojas (2019) en su tesis de especialización buscan:

Migrar a energías más eficientes con el fin de mitigar el impacto ambiental y la obsolescencia tecnológica que implica tener bombillas de sodio. Se efectúa un estudio de pre factibilidad que permita conocer si una inversión inicial en tecnologías de energías renovables en iluminación es viable financieramente, aplicando los beneficios tributarios. (p. 8)

Se emplea la investigación documental cuantitativa como metodología de este tema propuesto en el área de Antioquia, Colombia, entre sus conclusiones se menciona que se busca cumplir con los ODS promulgados por la ONU.

Ossa (2016) en su tesis de grado busca:

Estudiar la energía como un recurso natural renovable con el propósito de ser transformada y convertida en una fuente inagotable de bienestar para la sociedad. El propósito de su trabajo es la realización de un estudio financiero para la utilización de paneles fotovoltaicos en la iluminación pública en las zonas comunes de los conjuntos residenciales para suplir parte de las necesidades energéticas y reducir costos. (p.6)

Se emplea técnicas de investigación documental cuantitativo, cualitativo y de campo para el departamento de Colombia, entre sus conclusiones se menciona que se hizo una comparativa de precios entre tres diferentes empresas

que proveen el servicio eléctrico y con ello obtener el escenario económico de la propuesta.

Vélez y Figueroa (2015) en su tesis de grado buscan la viabilidad del proyecto apoyados en el progreso y desarrollo tecnológico que ha alcanzado la utilización de energía fotovoltaica a nivel mundial ya que el uso de energía de tipo renovable abarca actualmente alrededor de un 20 % del consumo en el planeta, siendo una fuente silenciosa y sin emisiones, se emplean técnicas investigativas cuantitativas y cualitativas documentadas, entre sus objetivos se busca ir eliminando lugares oscuros producto de falta del servicio de alumbrado y con esta propuesta se quiere disminuir escenarios donde la obscuridad favorezca a la delincuencia, además se busca proponer el incremento del uso de energía del tipo renovable.

Coloma (2018) en su tesis se plantea como objetivo principal realizar un evaluación de factibilidad implementado AP alimentados con paneles solares en el parque de la localidad de Alborada Décima Etapa y Álamos, resultado de la necesidad de obtener un servicio de iluminación adecuado, la investigación fue del tipo cuantitativo cualitativo, se empleó la técnica de encuestas a los vecinos del lugar, con el objeto de obtener evidencia de que la población avalaría el empleo de energía fotovoltaica en el lugar de estudio, entre sus conclusiones se pueden mencionar que la ausencia de iluminación afecta a varios sectores, dado que se propicia zonas con obscuridad lo que permite actos delictivos donde las personas no pueden ver al agresor, además se espera que de lograrse la implementación esto resultaría en un ahorro en el consumo por kW/h de 0.25 de dólar comparado al consumo habitual del sistema de abastecimiento de energía eléctrica.

López (2018) desarrolla una publicación donde aborda la factibilidad de empleo de energía solar destinada en iluminar el circuito Parcmotor ubicado en el municipio de Castellolí, este estudio analizó dos posibles escenarios; empleando un panel solar por cada foco, pero sin estar interconectados y el segundo escenario analizando el sistema completo de iluminación alimentado por una serie de paneles solares, esto con el fin de concluir a cerca de la factibilidad económica y tecnológica del proyecto, las técnicas de investigación empleadas fueron de tipo cuantitativa y cualitativa documentales, lo que se busca es reducir el costo del alumbrado en el circuito dado al uso constante de energía eléctrica municipal, lo cual repercutiría en menores gastos del servicio de iluminación y más horas de practica de los pilotos al considerar menores gastos en sus prácticas nocturnas.

Castillo (2019) en su tesis se plantea si es posible independizar el servicio de AP de las redes de energía que alimentan a la ciudad, se justifica en la disminución del impacto ambiental y en una alternativa de inversión del municipio y busca diseñar un sistema que emplee energía renovable e independiente para la iluminación externa en la ciudad de Corozal, Sucre, la técnica investigativa empleada fue documental cuantitativa, se empleó la encuesta como técnica para la recolección de datos, entre sus conclusiones se menciona que la falta de delimitación de jurisdicción limita la ubicación de luminarias en el lugar, dado que no hay quien se responsabilice en la colocación de estas, además, la delincuencia aprovecha que se generan lugares con sombras para cometer actos que atentan contra la integridad de los vecinos del sector, aunado a esto, el servicio de energía eléctrica es deficiente por lo que un sistema que no dependa de este servicio mejoraría grandemente la percepción de la ciudadanía en mejoras de servicios públicos.



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

Uno de los retos que enfrentan las municipalidades es recaudar fondos propios y la asignación del situado constitucional que se emplea en las mejoras del municipio, uno de los rubros a los que se le asigna buena parte del presupuesto anual es al costo del servicio de energía eléctrica por concepto de alumbrado público, en la actualidad muchas luminarias no son del tipo ahorradoras con lo que se puede generar menores costos si estas son reemplazadas por otras de menor consumo o bien independizar el sistema de alumbrado público con sistemas alimentados con paneles solares.

El alto costo de servicio de alumbrado público por consumo de energía en zona 9 de Mixco es una problemática no solo para esta zona, sino para todo el municipio, no obstante, se tiene contemplado conocer cuánto representa ese gasto en esta zona, esto es resultado de emplear tecnologías obsoletas (focos no ahorradores) lo cual implica un mayor costo en su mantenimiento cuando se requiera, a su vez, el mantenimiento es afectado por los recursos que la municipalidad disponga para tal fin ya que de ser limitados la respuesta no será inmediata para atender esta necesidad.

Es necesario reducir lo que se paga por concepto de alumbrado público, lo cual tendrá un efecto positivo de ahorro económico para la municipalidad, lo que implicaría que contaría con mayores fondos, al emplear energías limpias y renovables, en este caso energía solar, se puede tener independencia de la red de energía eléctrica y no depender de su proximidad para la ubicación de luminarias en la zona.



La sustitución de lámparas incandescentes por sistemas de iluminación alimentados con paneles solares supondrá incluso un menor costo por concepto de mantenimiento además de utilizar energías limpias y renovables, en este caso, energía solar, se espera con este trabajo presentar una alternativa energética que propicie la disminución de los costos en el consumo de energía eléctrica destinado al alumbrado público, de igual manera se busca crear la posibilidad de generar conciencia y hábito de uso de energías limpias en la zona 9 del municipio de Mixco, y además se estará contribuyendo con el objetivo 7 “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente” denotado en los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas, mostrando un impacto positivo a nivel municipal el cual, de mostrar un resultado positivo podrá ser replicado en más zonas del municipio o bien a nivel departamental.

### **3.1. Preguntas de investigación**

Para el desarrollo de este diseño de investigación se tuvieron que formular las siguientes preguntas.

#### **3.1.1. Pregunta principal**

- ¿Es factible técnica y económicamente la implementación de un sistema de alumbrado público basado en el aprovechamiento de energía solar en la zona 9 de Mixco?

#### **3.1.2. Preguntas secundarias**

- ¿Se podrá ahorrar en el consumo de energía eléctrica destinada al alumbrado público con sistemas de iluminación con paneles solares?

- ¿Qué características requieren los equipos necesarios para los sistemas de alumbrado con aprovechamiento solar fotovoltaico?
- ¿Cuál será el resultado de una evaluación económica en 2 y 4 años para la implementación del sistema de alumbrado público con paneles solares?



## 4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de servicios e infraestructura municipal y sublínea de propuesta de mejoramiento de los servicios públicos municipales de la maestría de Ingeniería para el Desarrollo Municipal.

En la actualidad el tema de utilización de energías limpias es muy importante a nivel mundial, por ello, se busca reducir drásticamente el uso de productos que utilicen cualquier tipo de método de fabricación que genere algún tipo de contaminación en sus procesos utilizando recursos energéticos como el gas, combustión de derivados del petróleo, quema de carbón entre otros, los cuales son recursos no renovables e incluso se puede mencionar la utilización de energía eléctrica generada por centrales hidroeléctricas, pero la cual depende de los cuerpos de agua, mismos que escasean o inician a escasear como resultado del cambio climático, con este trabajo se pretende presentar la alternativa en el uso de energía limpia y renovable como lo es la energía solar que represente una energía ilimitada y gratuita.

La reducción de costos y mantenimientos al sistema de alumbrado público es de gran interés para cualquier municipalidad por ello la finalidad de este trabajo es evaluar la viabilidad de la implementación de sistemas de alumbrado público con aprovechamiento solar para el municipio, donde se realizará una comparativa de costos del sistema actual contra la alternativa planteada de paneles solares y de igual manera haciendo una proyección económica a 2 y 4 años utilizando la herramienta VPN.

El presente estudio se desarrollará en el casco urbano de la zona 9 del municipio de Mixco, beneficiando a toda la población y a la municipalidad de Mixco primordialmente, dado que no solo busca la utilización de energías limpias, sino que también generar un ahorro en concepto de uso de energía eléctrica por alumbrado público, lo cual implica a su vez mayores fondos para inversión en otros rubros de desarrollo para la comuna.

La propuesta de uso de tecnologías avanzadas con aprovechamiento solar viene no solo a impulsar el uso de energías limpias, sino que a mejorar el sistema de alumbrado público en espacios abiertos donde la cobertura del servicio eléctrico limite la colocación de luminarias, por ejemplo donde no existan líneas de energía eléctrica, bien sea por difícil acceso o cuya capacidad no permita la expansión del sistema de iluminación pública, lográndose con ello brindar seguridad a la población al iluminar sectores sin este servicio que favorece a la delincuencia al aprovecharse de la penumbra, la población se beneficiaría directamente en contar con mayor cobertura de iluminación pública y la municipalidad en contar con un ahorro significativo en este servicio además de ganar la aprobación de sus resultados por la población en general.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Realizar una evaluación técnica financiera para determinar la factibilidad de la implementación de sistemas de alumbrado público con aprovechamiento solar para la zona 9 de Mixco.

### **5.2. Específicos**

- Estimar el ahorro por la implementación del sistema de alumbrado público alimentado con paneles solares contra el costo del servicio sistema actual para determinar si existe ahorro en este servicio.
- Definir sobre equipos disponibles en el mercado y niveles de radiación solar requerido para su funcionamiento óptimo.
- Realizar una evaluación financiera en una proyección de 2 y 4 años para la implementación del sistema de alumbrado público con paneles solares.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN**

El presente estudio evaluará técnica y financieramente la implementación de un sistema para alumbrado público alimentado con paneles solares y con ello obtener el costo/beneficio que representa la migración de la red eléctrica a energías renovables, con el fin de conocer si es factible o no su implementación.

La necesidad a abordar es disminuir el gasto que representa el pago del servicio de alumbrado público a la zona 9 de Mixco, el cual se asigna anualmente en el presupuesto municipal, los costos del servicio dependen de la entidad que brinda dicho servicio, mediante esta investigación se podrá considerar las características de los equipos necesarios y la inversión requerida para la propuesta.

La presente evaluación aportará la información físico-financiera necesaria para determinar si es factible la implementación del sistema de alumbrado público, evaluando factores técnicos, financieros y en qué medida se beneficiará al casco urbano de la zona 9 de Mixco.

Esta evaluación está dirigida a la alcaldía auxiliar de la zona 9 de Mixco y su implementación obtendrá beneficios ambientales al utilizar energía solar la cual es renovable y limpia.





## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Energías renovables**

Son aquellas que se obtienen de alguna fuente natural, permanente, casi inagotable y que producen grandes cantidades de energía, su uso no genera ningún tipo de emisión de gases por lo que son consideradas energías limpias, para su aprovechamiento se recurre al uso de tecnologías y mecanismos especiales que convierten estos recursos energéticos naturales en energía eléctrica, mecánica, etc. (Ossa, 2016).

### **7.2. Tipos de energías renovables**

Entre las energías renovables se pueden mencionar: eólica, solar, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y undimotriz, cada una de estas se diferencia en su naturaleza y en el método de transformación que se requiere para aprovechar tal energía. (Ossa, 2016)

#### **7.2.1. Energía solar**

El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura sistema foto térmico y por conversión fotovoltaica sistema fotovoltaico.

La conversión fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas

solares formadas por células fotovoltaicas de silicio o de germanio. (Miñarro, 2014, p.1-2).

### **7.2.2. Energía eólica**

Se obtiene de la energía cinética que se genera mediante las corrientes de viento, por la rotación generada en turbinas, o por el empuje que provoca por ejemplo en las velas de los barcos, energía que se ha empleado desde la antigüedad (Ossa, 2016).

### **7.2.3. Energía hidráulica**

Utiliza la energía potencial y cinética que se produce en los saltos de agua y corrientes de ríos, se vale de represas y embalses para generar caídas de agua que provocan la rotación de turbinas, así como del flujo de agua de los ríos que hacen girar ruedas hidráulicas, el hombre desde la antigüedad a empleado su uso a menor escala (Ossa, 2016).

### **7.2.4. Energía geotérmica**

Ossa (2016) afirma que se obtiene aprovechando el calor del que emana internamente del planeta.

El calor interno, produce la fusión de las rocas y el calentamiento de las aguas subterráneas y los gases subterráneos calientan el agua de las capas inferiores, la que emana a la superficie en forma de vapor o líquido caliente. (Ossa, 2016, p. 28)

### **7.2.5. Energía mareomotriz**

Es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del Sol sobre las masas de agua de los mares. (Lis, 2010, p. 1)

### **7.2.6. Energía undimotriz**

Ossa (2016) refiere que es resultado de aprovechar la energía potencial y cinética presente en el oleaje lo que produce electricidad.

“El calentamiento desigual de la atmósfera terrestre genera viento, y el viento genera olas, únicamente 0,01 % del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas” (p. 27).

## **7.3. Características de la energía solar**

Pineda (2021) afirma:

Recurso constante, gratuito, inagotable, limpia, vital, radiación que llega a la superficie del planeta, no contamina, es una fuente energética intermitente, gran alternativa ante la quema de combustibles fósiles, es capturada mediante paneles solares fotovoltaicos.

La más desarrollada es la energía solar fotovoltaica, puede suministrar electricidad a 2 tercios de la población mundial para 2030, tiene un gran valor ambiental, ecológico y sostenible por sus beneficios para una mejor calidad de vida. (p. 9)

#### **7.4. Importancia de la energía solar**

Hoy día, el uso de energías renovables es más relevante que hace dos décadas, el Grupo de Trabajo Abierto de la Asamblea General de las Naciones Unidas. estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y propiamente en el objetivo 7 se tiene como finalidad “Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2012, párr. 3), lo que implica la necesidad de inversión en fuentes de energías limpias como la solar, eólica o termal.

La energía solar por su naturaleza se puede aprovechar desde casi cualquier parte del planeta, lo que da una ventaja significativa en su utilización con relación a distintos tipos de energías renovables.

#### **7.5. Ventajas de la energía solar**

Los principales aspectos positivos de la energía solar son: renovable, modular, con gran aplicación, respetable con el ambiente, limpia, reduce la contaminación o mitigación a problemas ambientales como el cambio climático, alternativa a los combustibles fósiles.

Proporciona electricidad, independiente, económica, fácil mantenimiento, empleo, seguridad energética, sustentable y en pro del bienestar humano. (Pineda, 2021, párr. 18)

### **7.5.1. Radiación solar**

“Es la energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas, en línea recta sin intervención de una materia intermedia a 300,000 km por segundo” (Ossa, 2016, p. 28).

La radiación se mide en  $w/m^2$  (watts por metro cuadrado), también se le llama irradiancia.

### **7.5.2. Radiación directa**

Es la radiación que no sufre ningún cambio en su dirección desde el Sol, su característica es que los objetos opacos que interceptan esta radiación proyectan una sombra definida (Ossa, 2016).

### **7.5.3. Radiación difusa**

Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad. (Ossa, 2016, p. 29)

### **7.5.4. Radiación albedo**

También se le conoce como radiación reflejada, la radiación de albedo incide en las superficies verticales principalmente, del coeficiente de reflectancia de las superficies adyacentes a los paneles solares depende la cantidad de radiación albedo que se recibe. (Ossa, 2016)

## **7.6. Sistemas de iluminación**

Alvarado y Jaramillo (s.f.) afirman:

Los sistemas de iluminación se clasifican en dos grupos: los convencionales y los no convencionales.

Tanto los sistemas convencionales como los no convencionales se pueden alimentar de la red doméstica de abastecimiento de energía eléctrica, pero los sistemas no convencionales son especialmente interesantes para alimentarse con energía proveniente de fuentes renovables. (p. 1)

### **7.6.1. Alumbrado público con paneles solares**

El avance de la ciencia ha posibilitado la adaptabilidad y dinamismo del alumbrado público y vial. Hoy en día no se le ve como un sistema que simplemente ilumina y brinda seguridad, pues se le ha dado la importancia como un factor elemental en el paisaje y desarrollo urbano, ya que se han aprovechado las ventajas estéticas y energéticas que brindan las luminarias de nuestra época. (LEDSOLAR, s.f., p. 9)

Las soluciones tecnológicas que actualmente se encuentran en el mercado van desde sistemas autónomos es decir que todos sus componentes están integrados en un solo aparato y sistemas que requieren estar conectados a una red de cableado eléctrico que se alimenta de un sistema de paneles solares ubicados en otro lugar, este último es más elaborado, ya que requiere de disponer de un predio lo suficientemente amplio para albergar la cantidad necesaria de paneles solares, un punto a su favor es que es más sencilla las sustituciones de

los elementos dañados o para su mantenimiento dado el fácil acceso a sus componentes, mientras que los sistemas autónomos al tener integrado todo en uno, la sustitución de sus piezas es un poco más elaborada, no obstante cualquiera de las dos posee gran variedad de repuestos.

#### **7.6.1.1. Qué es un panel solar**

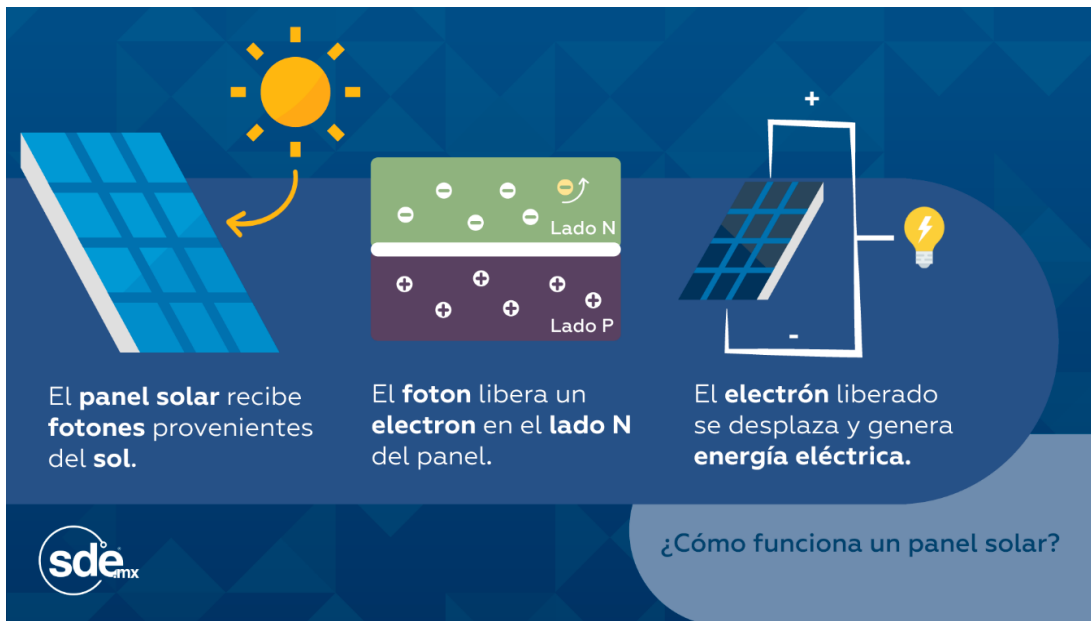
El panel foto voltaico se caracteriza por tener una gran cantidad de células conectadas eléctricamente entre sí, algunas van conectadas tanto paralelo y otras en serie de modo que la tensión corriente almacenada y suministrada incrementa hasta el valor deseado. (Coloma, 2018, p. 15)

Las placas solares fotovoltaicas se basan en dos obleas o láminas con materiales semiconductores. Ambas utilizan unos elementos químicos, denominados dopantes, que fuerzan a una de las planchas a tener un exceso de electrones (carga negativa, N) y a la otra, a una falta de estos (carga positiva, P). Esta unión P-N genera un campo eléctrico con una barrera de potencial que impide que se trasvasen electrones entre las planchas.

Cuando se expone esta unión P-N a la radiación solar, los fotones de la luz transmiten su energía a los electrones. Con este aporte, rompen la barrera de potencial y salen del semiconductor por un circuito exterior, de manera que se produce corriente eléctrica. Las placas fotovoltaicas se componen de células, el módulo más pequeño capaz de producir electricidad. (Fernández, 2009, p. 2)



Figura 1. **Funcionamiento de un panel solar**



Fuente: SDE.mx. (2015). *¿Cómo funciona un panel solar?* Consultado el 9 de octubre, 2021.  
Recuperado de <http://www.sde.mx/como-funciona-un-panel-solar/>

### 7.6.1.2. **Evolución de los paneles solares**

Con el transcurrir del tiempo los paneles solares fotovoltaicos han evolucionado a medida que se descubren nuevos hallazgos de cómo aprovechar el efecto fotovoltaico relacionado a los materiales utilizados en la construcción de estos.

De momento existen cuatro generaciones en que los expertos se refieren a la evolución de los paneles solares según Fernández (2009). A medida que avanza la tecnología y el estudio de los materiales, se busca aumentar el aprovechamiento energético que los paneles solares pueden obtener de la radiación solar, los materiales que los componen inciden en la eficiencia.

Acerca de las cuatro generaciones Fernández (2009) afirma que:

El silicio puro monocristalino permite un rendimiento en los paneles comerciales del 16 %, pero su precio es caro. El silicio puro policristalino, reconocible por su aspecto granulado, es más barato, pero logra un rendimiento del 14 %. Su rendimiento es del 8 %. Los científicos trabajan con otros materiales, como el telururo de cadmio o los sulfuros y seleniuros de indio para ampliar el abanico de posibilidades.

La segunda generación de células solares se conoce desde los años noventa. Se basan en un método de producción epitaxial para crear láminas mucho más flexibles y delgadas que sus predecesoras. Por ello se las denomina de lámina delgada. La eficiencia, entre el 28 % y el 30 %, es otra de sus principales ventajas, pero su elevado coste las limita hoy en día a los sectores aeronáutico y espacial.

La tercera generación, todavía en fase de experimentación, persigue mejorar aún más los paneles de láminas delgadas. Diversos investigadores y empresas de todo el mundo trabajan en varias tecnologías, como las denominadas de huecos cuánticos, nanotubos de carbono o nanoestructuras de óxido de titanio con colorante (DSSC). Con ellas se podría crear una pintura que recubriría las casas o las carreteras para generar energía; así como tintes para todo tipo de aparatos electrónicos, prendas textiles o coches solares. La eficiencia de estos sistemas también podría ser superior (entre el 30 % y el 60 %). Sus defensores creen que estas placas podrían empezar a comercializarse sobre 2020.

Una cuarta generación de paneles solares uniría nanopartículas con polímeros para lograr células más eficientes y baratas. El panel se basaría en varias capas que no sólo aprovecharían los diferentes tipos de luz, sino también el espectro infrarrojo. La NASA ha utilizado esta tecnología multi-unión en sus misiones a Marte. (p. 4-11)

### **7.6.1.3. Tecnologías para energías solares**

En la actualidad la tecnología dedicada al uso de energía solar está dando pasos favorables en esta meta, por lo que cada oportunidad de innovación es desarrollada de tal manera que se pueda integrar al entorno. Cuatro tecnologías que se están empleando con este fin son: árboles solares, células solares en tándem, agro fotovoltaica y paneles fotovoltaicos flotantes (Gascueña, 2020).

Las células solares en tándem funcionan en cascada. Colocadas una sobre la otra, cada una convierte una banda específica de la luz solar en energía eléctrica, evitando así que se desaproveche la energía, pues la restante pasa siempre a la célula siguiente. (Gascueña, 2020, p. 4)

Figura 2. **Paneles solares en tándem**



Fuente: NCYT. (2020). *Paneles solares*. Consultado el 9 de octubre, 2021. Recuperado de <https://noticiasdelaciencia.com/art/39884/apoyo-a-los-avances-en-las-celulas-solares-en-tandem-de-perovskita>

Los paneles fotovoltaicos flotantes son aquellos que se instalan sobre cuerpos de agua o zonas costeras. (Gascueña, 2020)

A finales de 2018, la capacidad instalada acumulada global de la fotovoltaica flotante era de 1,1 GW, 100 veces más que tan solo cuatro años antes. En palabras de Riccardo Puliti, director de Energía del Banco Mundial, la tecnología solar flotante tiene enormes ventajas para los países donde la tierra es escasa o las redes eléctricas son débiles. (Gascueña, 2020, p. 5)

Figura 3. **Paneles flotantes**



Fuente: OpenMind BBVA. (2020). *Cuatro tecnologías que prometen revolucionar la energía solar foto voltaica*. Consultado el 9 de octubre, 2021. Recuperado de:  
<https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/cuatro-tecnologias-que-prometen-revolucionar-la-energia-solar-fotovoltica/>

Los árboles solares son sistemas fotovoltaicos con características paisajísticas para su integración en el entorno urbano. (Gascueña, 2020)

Figura 4. **Árboles solares**



Fuente: Green energy. (2020). *Árboles solares*. Consultado el 9 de octubre, 2021. Recuperado de <https://greenenergy.com.pe/arboles-solares/>

La energía agro voltaica se refiere a la aplicación de la energía solar a usos agrícolas. Este término fue inventado y utilizado por primera vez en 2011 por Dupraz, pero el concepto de combinar la energía solar y la agricultura, fue concebido originalmente en 1981. (Fernández, 2021)

Según explica un artículo de la revista Nature, los sistemas agro voltaicos de doble uso suponen una gran oportunidad para el futuro de la sostenibilidad energética. La demanda mundial de energía se vería compensada por la producción solar, incluso si menos del 1 % de las tierras de cultivo se convirtieran en un sistema agro voltaico, según la citada investigación. La clave está en cultivar bajo los paneles solares, pues los investigadores han confirmado los beneficios de aprovechar la sombra que producen para el rendimiento de los cultivos y su consumo de agua. (Gascueña, 2020, p. 7)

Figura 5. **Agro voltaica**



Fuente: GreenTeach. (2021). *Agro voltaica o agro fotovoltaica: aplicación de energía solar en agricultura*. Consultado el 9 de octubre, 2021. Recuperado de: <https://www.greenteach.es/agrovoltaica-o-agrofotovoltaica-aplicacion-de-energia-solar-en-agricultura/>

#### **7.6.1.4. Sistemas de baterías**

Las baterías poseen un sistema interno el cual sirve para que se produzca la carga de energía dentro de la batería, Blog TECNOSOL (2016) afirma que: “Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen reacciones químicas debidas a su carga y su descarga”. (p. 3)

- Capacidad de las baterías

La capacidad se mide utilizando la unidad de medida de amperios/hora (Ah), “La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa de la batería con carga completa” (Echavarría y Rojas, 2019, p. 27).

- Profundidad de descarga de las baterías

Blog TECNOSOL (2016) afirma: Se denomina así al cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal, en tanto por ciento. Por ejemplo, una batería de 250 Ah que se ha sometido a una descarga de 100 Ah, esto significa que la profundidad de descarga que se la sometido es del 40 % del total de la batería. (p. 7)

- Vida útil de la batería

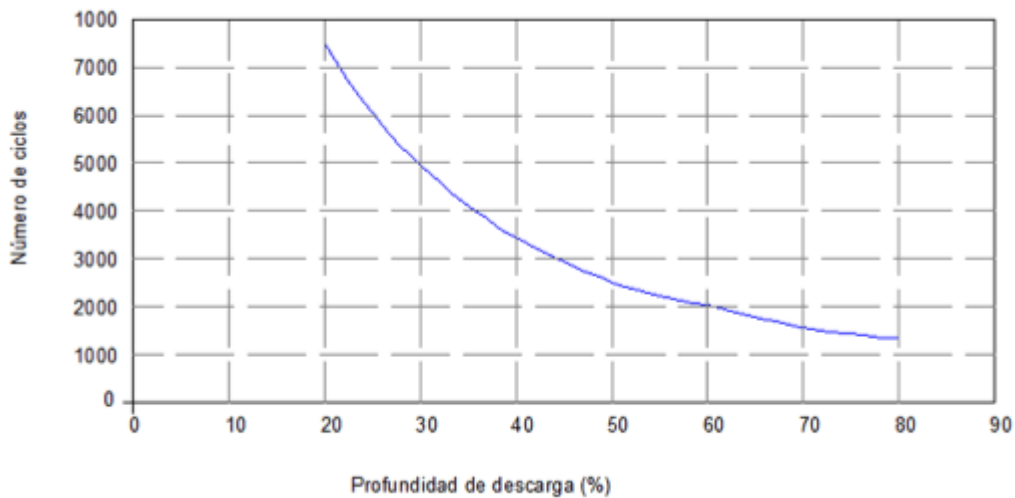
Echavarría y Rojas (2019) afirman: “Esta se mide en ciclos de carga. La vida de una batería es proporcional la profundidad de descarga habitual” (p. 28).

Blog TECNOSOL (2016) afirma que:

Una batería monoblock que tenga vida útil de 180 ciclos a una profundidad de descarga del 80 %, si las descargas se reducen a un 30 % la vida útil de esa misma batería aumentará a más de 1000 ciclos. (p. 8)



Figura 6. **Gráfico de vida útil en ciclos y profundidad de descarga de baterías estacionarias**



Fuente: Blog TECNOSOL. (2016) *Energía Solar baterías*. Consultado el 9 de octubre, 2021.  
Recuperado de: <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/>

#### **7.6.1.5. Tipos de batería**

A continuación, se describen algunos tipos de baterías empleadas en sistemas de paneles solares:

- Tipo monoblock: se emplean en instalaciones de poca envergadura y que no requiera alimentar ningún tipo de motor, son especialmente apreciadas por ser baratas (Blog TECNOSOL, 2016).
- De ciclo profundo: son especialmente utilizadas en instalaciones con uso medio y de manera diaria, son muy parecidas a las de tipo monoblock con la diferencia en su capacidad y tamaño, soportan mayor cantidad de ciclos

sin dañar su sistema y tienen una vida promedio de entre 6 y 7 años (Blog TECNOSOL, 2016).

- Baterías AGM: también se les conoce como “sin mantenimiento” ya que poseen inmovilizado el electrolito y los gases se regulan con válvulas que evitan pérdidas, tienen una profundidad de descarga mayor a las baterías de tipo monoblock, su uso es perfecto en instalaciones pequeñas ya que estas tienen la desventaja de poseer un costo elevado en su mantenimiento (Blog TECNOSOL, 2016).
- Baterías estacionarias: este tipo de baterías se emplean donde se requiera que posean una larga vida útil, se emplean en lugares donde se requiera uso diario por largos periodos (Echeverría y Rojas, 2019).
- Baterías de litio: presentan la desventaja que su costo es mayor, pero presentan las ventajas de ser de menor tamaño, menor peso, menor tiempo de carga y no hay emisión de gases en su funcionamiento. (Echavarría y Rojas, 2019).

#### **7.6.1.6. Iluminación**

La historia enseña que el ser humano ha sido capaz de dominar la oscuridad con el uso de luminarias, las cuales han ido evolucionando tecnológicamente al paso de los años, siendo la más actual la iluminación con tecnología led que posee un bajo consumo de energía y que tienen mayor vida útil comparada con sus predecesoras, para el presente trabajo se consideraran luminarias del tipo led.

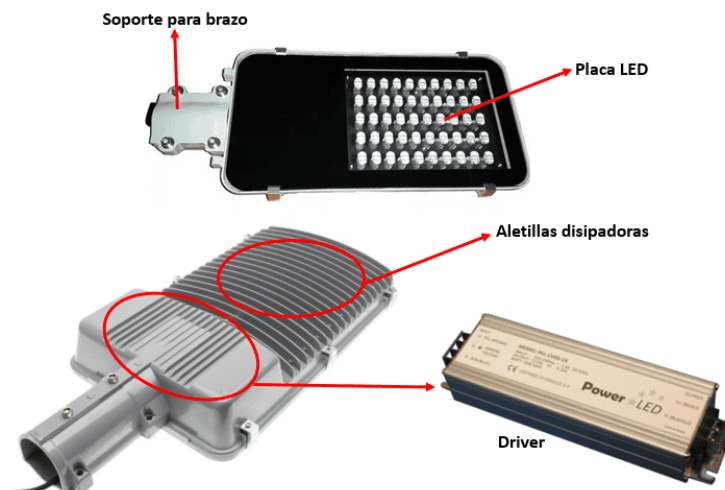
### 7.6.1.7. Tipos de luminarias solares

Básicamente existen dos tipos de luminarias solares las de tipo independiente y las centralizadas, siendo su forma de conexión, capacidad de batería, lúmenes, entre otras características las que las diferencian entre ellas (LBA Industrial, 2018).

- Luminarias independientes

Son conocidas como todo en uno, donde el equipo tiene todos sus componentes instalados en un solo aparato, “las luminarias solares independientes tienen paneles fotovoltaicos montados en la estructura. Cada poste de luz tiene sus propios paneles y es independiente a las otras lámparas” (LBA industrial, 2018, párr. 7).

Figura 7. Luminaria tipo independiente todo en uno

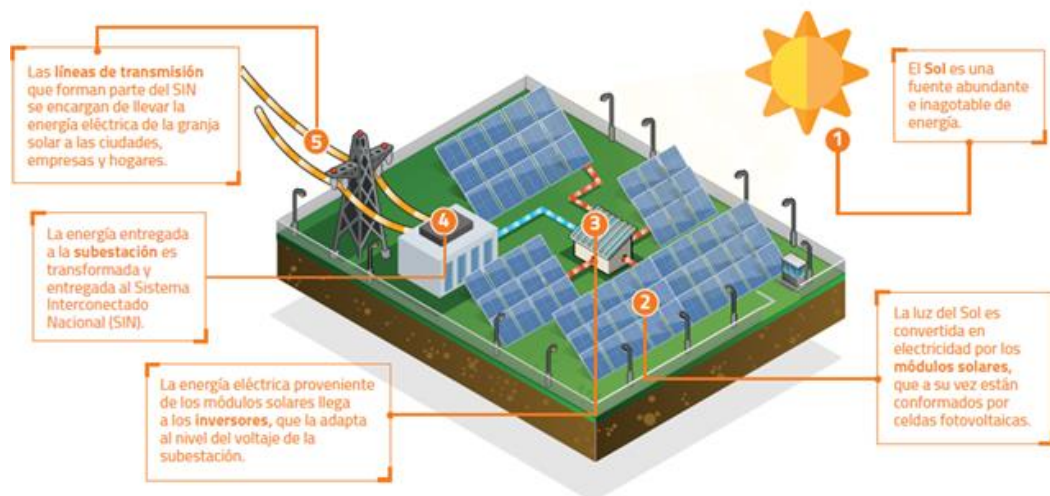


Fuente: Dumalux. (2019). *Alumbrado público led*. Consultado el 10 de octubre, 2021.  
Recuperado de: <https://dumalux.com/blog/97-alumbrado-publico-led-debes-saber>

- Luminarias centralizadas

Tienen sus otros componentes en otro lugar destinado a la transformación de energía solar a fotovoltaica y todas las luminarias se conectan por medio de un cableado proveniente desde la fuente de poder central, “en este tipo, los paneles fotovoltaicos para un grupo de luminarias están montados por separado. Todas las luces de un grupo particular están conectadas a una fuente de poder central”. (LBA industrial, 2018, p. 8)

Figura 8. Luminarias centralizadas



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica. (2014). *Luminarias centralizadas*. Consultado el 9 de octubre, 2021. Recuperado de <https://sites.google.com/site/energisolrfotovoltaica/>

### 7.6.1.8. Cantidad de luz apropiada

La iluminación en vialidades debe ser suficiente para que los obstáculos sean visibles cuando se transita, por lo tanto, el equipo seleccionado debe proporcionar una cantidad de luz, la cual se mide en lúmenes (Lm), que provea

la cantidad necesaria para tal fin, y un lux es igual a un lumen/m<sup>2</sup> (Guerrero, Ruvalcaba y Vásquez, 2016).

Tabla I. **Iluminación apropiada**

<b>Clasificación</b>	<b>Iluminación promedio (luxes)</b>	<b>Uniformidad General Uo (%)</b>
Canchas deportivas	50	45
Boulevard	60	45
Piletas	40	40
Andenes y camineras	30	40
Parques	30	40
Área de juegos	30	40
Área de gimnasio municipal	30	40
Área de descanso	25	40

Fuente: Coloma. (2018). *Análisis de factibilidad de paneles solares fotovoltaicos en el parque alborada décima Etapa y álamos*. p. 46.

#### **7.6.1.9. Intensidad de luz**

Su unidad de medida es la candela (Cd), Guerrero, Ruvalcaba y Vásquez (2016), afirman: “Una candela es un lumen por estereorradián y se denota con la letra I” (p. 14).

#### **7.6.1.10. Características generales de los equipos con paneles solares**

Los equipos independientes del tipo todo en uno deben tener una autonomía entre 3 a 5 días sin recibir radiación solar, esto es para evitar que un evento que dificulte un cielo despejado no perjudique la iluminación nocturna, deben contar con una carcasa que sea resistente a las condiciones climáticas y contar con puntos de fijación (Castillo, 2019).

#### **7.6.1.11. Ventajas**

- Al ser autosuficientes no requiere energía eléctrica local, se recargan con la luz solar durante el día, resultando en la reducción de costo de alumbrado público por consumo de energía eléctrica.
- Requieren menor mantenimiento: ya que tienen menores posibilidades de sobrecalentamiento por malas conexiones, calidad en el suministro de energía, fallas eléctricas que si pueden generar las luminarias convencionales.
- Estos sistemas son respetuosos con el ambiente ya que dependen exclusivamente de la energía radiada por el sol, eliminando su contribución a las huellas de carbono.
- Fácil instalación, soluciones completas con componentes listos para usar, ya que no requiere de cableado ni punto eléctrico para conexiones.
- Se puede instalar en zonas alejadas no interconectadas, lo que la hace una solución más eficiente y útil a los problemas de iluminación.
- Ciclo de vida de los módulos de iluminación es mayor a los de las fuentes convencionales. (Echavarría y Rojas, 2019, p. 24-25)

#### **7.6.1.12. Desventajas**

- Requieren una inversión inicial alta en comparación con luminarias de AP convencionales.
- Su fácil montaje y desmonte y el costo de estas las hace susceptibles a hurto o vandalismo.
- El sistema de baterías debe ser reemplazadas periódicamente, por lo cual se debe incluir dentro del costo de mantenimiento dentro del ciclo de vida útil de la luminaria.
- El polvo, la humedad se acumulan en los paneles por lo que hay que limpiarlos periódicamente. (Echavarria y Rojas, 2019, p. 25)

### **7.7. Marco legal**

A continuación, se presentan las leyes, normas y tratados que sustentan el presente trabajo relacionado al uso de energías renovables.

#### **7.7.1. Ley General de Electricidad**

El decreto 93-96 indica en su artículo 1 e inciso a) “Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por parte del Estado, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2013, p. 2).

### **7.7.2. Desarrollo sostenible**

Guatemala se ha comprometido a involucrarse en el uso de energía renovable, lo que se expresa en el eje de la política pública *Recursos naturales hoy y para el futuro*. “Hasta ahora, el costo de la energía no está considerado dentro de la canasta básica; tampoco lo están otras consideraciones asociadas con el uso de energías limpias o renovables, que permitan disminuir la presión sobre los recursos naturales” (Umaña, 2014, p. 264).

### **7.7.3. Protocolo de Kioto**

La principal característica del Protocolo es que tiene objetivos obligatorios relativos a las emisiones de gases de efecto invernadero para las principales economías mundiales que lo hayan aceptado.

Estos objetivos van desde -8 % hasta +10 % del nivel de emisión de los diferentes países en 1999.

Con miras a reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5 % al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012.

En casi todos los casos, incluso en los que se ha fijado un objetivo de +10 % de los niveles de 1990, los límites exigen importantes reducciones de las emisiones actualmente proyectadas.

Se prevé el establecimiento de objetivos obligatorios futuros para los períodos de compromiso posteriores a 2012, estos se negociarán con



suficiente antelación con respecto a los períodos afectados. (Vélez y Figueroa, 2015, p. 35)

#### **7.7.4. Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas**

También conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los Estados Miembros en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, s. f., p. 1)

“Los 17 ODS están integrados, ya que reconocen que las intervenciones en un área afectarán los resultados de otras y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad medio ambiental, económica y social” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, s. f., p. 2).

##### **7.7.4.1. Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos**

Para 2030, garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos.

Para 2030, aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía.

Para 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, s.f., p. 1-3)

#### **7.7.5. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable**

En Guatemala se decretó la *Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable* (Ortíz, 2003) cuyo objetivo es promover el uso de energías renovables, con ello se pretende mejorar la calidad del ambiente de Guatemala, por otro lado, también busca lograr el interés de inversionistas cuyas actividades involucren el aprovechamiento de energías renovables.

Urgencia e interés nacional. Se declara de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables.

El órgano competente estimulará, promoverá, facilitará y creará las condiciones adecuadas para el fomento de inversiones que se hagan con ese fin (Ortíz, 2003, art. 1).

El incentivo para las municipalidades es la exención de impuestos como el Impuesto Sobre la Renta y el Impuesto sobre el Valor Agregado como se indica en el artículo 5, estas exenciones tendrán un periodo de 10 años como máximo (Ortíz, 2003).

#### **7.7.6. Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable**

El Acuerdo Gubernativo N.º 211-2005 es el instrumento que viene a normar el Decreto 52-2003, se detalla todo lo relacionado al proceso para desarrollar proyectos que emplee energías renovables.

En el artículo 1 se menciona que “Tiene por objeto desarrollar los preceptos normativos de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable y asegurar las condiciones adecuadas para la calificación y aplicación concreta de los incentivos establecidos en la indicada Ley” (Acuerdo Gubernativo número 211-2005, 2005, art.1).

#### **7.8. Marco geográfico**

A continuación, se describe las características topográficas e históricas del área de estudio.

##### **7.8.1. Descripción de la zona 9 de Mixco**

Su topografía presenta un 69 % de área con pendientes mayores al 15 %, su extensión se conforma de 7 colonias, 1 aldea y una finca (Municipalidad de Mixco, s. f.).

Actualmente existen los equipamientos básicos para la población: tales como equipamiento de educación, de salud, estación de policía, etc. Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Mixco, zona 9. El 58 % de la población son trabajadores no calificados, dedicados a ser operarios,

artesanos, vendedores o relacionados con el comercio. (Sánchez, 2020, p. 6)

### **7.8.2. Historia de la zona 9 de Mixco**

Su formación data de los años 70, su población aumentó considerablemente en el año 2015, ya que 252 familias fueron reubicadas en la localidad, dichas familias provenían de las colonias: Los Magueyes, La Asunción, Los Olivos, entre otras, las cuales fueron declaradas inhabitables debido a un alto riesgo de deslizamiento en el año 2012 (Sánchez, 2020).

### **7.8.3. Localización**

Se localiza en la parte sur oeste del municipio de Mixco, en las coordenadas: 14°35'12"N, 90°36'25"W.

Figura 9. **Mapa del municipio de Mixco**



Fuente: MuniMixco. s.f. *Plan de ordenamiento territorial*. Consultado el 15 de octubre, 2021.  
Recuperado de: <https://www.munimixco.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/ZONA-9.pdf>

#### **7.8.4. Vías de acceso**

La única ruta de acceso es por la carretera CA-1 km 19.4 en sentido a la ciudad capital.

### **7.8.5. Colindancias**

Colinda al Sureste con la aldea Choacorrall perteneciente al municipio de San Lucas Sacatepéquez, al Sur y Oeste con la zona 8 de Mixco y al Norte con la zona 1 de Mixco.

## **7.9. Marco financiero**

A continuación, se describen los conceptos financieros empleados para la realización del presente trabajo.

### **7.9.1. Valor Presente Neto**

“Consiste en transformar a una sola cantidad equivalente en el tiempo presente (hoy), los valores futuros” (Samuels, 1997, p. 21).

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Fuente: Ossa. (2016). *Estudio técnico y financiero para la implementación de sistemas solares de alumbrado público en las zonas comunes de conjuntos residenciales.*

Donde:

$t$  = número de periodo en años

$k$  = tasa de interés, inflación o devaluación

$I_0$  = inversión inicial

$V_t$  = flujo de dinero en cada periodo  $t$

### 7.9.2. Costo/beneficio

“Es determinar la relación de beneficios a costos, generalmente se aplica para inversiones públicas” (Samuels, 1997, p. 21).

“Cuando se desea alcanzar un objetivo específico, y este puede ser alcanzado con varios proyectos alternativos que tienen diferentes costos y alcanzan diferentes beneficios se puede emplear la metodología de Beneficio/costo” (Samuels, 1997, p. 47).

$C/B > 1$  El proyecto es viable

$C/B < 1$  El proyecto no es viable

$C/B = 1$  La opción es indistinta

Donde:

C = costo

B = beneficio

### 7.9.3. Tasa Interna de Retorno TIR

Esta herramienta financiera es útil para encontrar la tasa en la cual los ingresos equivaldrán a los costos, es decir la tasa en la que el VPN referente a los gastos e ingresos es cero, su utilidad en las evaluaciones es que esta herramienta permite obtener la tasa requerida para reintegrar los montos de inversión (Samuels, 1997).

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Donde:

$t$  = tiempo

$i$  = tasas de interés

$R_t$  = flujo neto de efectivo (ingresos menos egresos)





## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO
  - 1.1. Energías renovables
  - 1.2. Tipos de energías renovables
    - 1.2.1. Energía solar
    - 1.2.2. Energía eólica
    - 1.2.3. Energía hidráulica
    - 1.2.4. Energía geotérmica
    - 1.2.5. Energía mareomotriz
    - 1.2.6. Energía undimotriz
  - 1.3. Características de la energía solar
  - 1.4. Importancia de la energía solar
  - 1.5. Ventajas de la energía solar
    - 1.5.1. Radiación solar
    - 1.5.2. Radiación directa

- 1.5.3. Radiación difusa
- 1.5.4. Radiación albedo
- 1.6. Sistemas de iluminación
  - 1.6.1. Alumbrado público con paneles solares
    - 1.6.1.1. Qué es un panel solar
    - 1.6.1.2. Evolución de los paneles solares
    - 1.6.1.3. Tecnologías para energías solares
    - 1.6.1.4. Sistemas de baterías
    - 1.6.1.5. Tipos de batería
    - 1.6.1.6. Iluminación
    - 1.6.1.7. Tipos de luminarias solares
    - 1.6.1.8. Cantidad de luz apropiada
    - 1.6.1.9. Intensidad de luz
    - 1.6.1.10. Características generales de los equipos con paneles solares
    - 1.6.1.11. Ventajas
    - 1.6.1.12. Desventajas
- 1.7. Marco legal
  - 1.7.1. Ley General de electricidad
  - 1.7.2. Desarrollo Sostenible
  - 1.7.3. Protocolo de Kioto
  - 1.7.4. Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas
    - 1.7.4.1. Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos
  - 1.7.5. Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable

- 1.7.6. Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable
  - 1.8. Marco geográfico
    - 1.8.1. Descripción de la zona 9 de Mixco
    - 1.8.2. Historia de la zona 9 de Mixco
    - 1.8.3. Localización
    - 1.8.4. Vías de Acceso
    - 1.8.5. Colindancias
  - 1.9. Marco financiero
    - 1.9.1. Valor Presente Neto
    - 1.9.2. Costo/beneficio
    - 1.9.3. Tasa Interna de Retorno TIR
- 2. RECOLECCIÓN DE DATOS
  - 2.1. Análisis financiero del presupuesto designado al alumbrado público en zona 9 de Mixco, municipio de Guatemala
    - 2.1.1. Presupuesto designado al alumbrado público actual
    - 2.1.2. Mantenimiento del sistema de alumbrado público actual
  - 2.2. Análisis de alternativas
    - 2.2.1. Equipos disponibles en el mercado
    - 2.2.2. Consideraciones de la alternativa
    - 2.2.3. Inversión en equipo seleccionado para iluminación pública
    - 2.2.4. Mantenimiento del equipo seleccionado para iluminación pública.
    - 2.2.5. Equipos disponibles en el mercado
    - 2.2.6. Consideraciones de la alternativa

- 2.2.7. Inversión en equipo seleccionado para iluminación pública
- 2.2.8. Mantenimiento del equipo seleccionado para iluminación pública
- 2.2.9. Determinación de los costos de implementación de la alternativa seleccionada

### 3. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO

- 3.1. Valor Presente Neto
- 3.2. Costo/beneficio
- 3.3. TIR

### 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Comparación del costo actual contra la alternativa planteada
- 4.2. Definición sobre equipos disponibles
- 4.3. Análisis financiero en una proyección de 2 y 4 años para la implementación del sistema de alumbrado público con paneles solares.
  - 4.3.1. Consideraciones del proceso de transición de la alternativa
- 4.4. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Tipo de estudio**

Se realizará una investigación de tipo cualitativa, descriptiva, documental no experimental.

Es de carácter cualitativo dado que se requiere obtener información no cuantificable, es descriptiva porque se requiere determinar la problemática que impera en el sector y documental porque se debe obtener datos financieros recopilados del costo por servicios de alumbrado público, esto mediante información solicitada a la municipalidad de Mixco y con ello realizar un análisis financiero y es no experimental dado que la información no constituye intervención directa en su obtención.

El alcance de esta investigación no comprobará una hipótesis.

### **9.2. Fases del estudio**

Se describirán a continuación cuatro fases del estudio.

### **9.3. Fase 1: exploración bibliográfica y desarrollo del marco teórico**

En la primera fase se obtendrá la bibliografía relacionada a la importancia del uso de energías renovables, explicación del uso de la energía solar y los factores que intervienen, la información recabada será la base para la elección del tipo de equipos adecuados para el sistema de alumbrado público alimentado

por energía solar como alternativa de uso de energías limpias, gratuitas, renovables e ilimitadas.

#### **9.4. Fase 2: recolección documental**

En la segunda fase se realizará una consulta de documentos con información financiera del monto presupuestario que se asigna al pago del servicio de alumbrado público en la zona 9 de Mixco, así como la información del tipo, cantidad de luminarias, características técnicas y monto asignado al mantenimiento del sistema de alumbrado público correspondiente a los años: 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.

Con la información financiera obtenida se podrá crear una comparativa de cuanto se destina al servicio de alumbrado público, además de considerar si el tipo de luminarias influye en el monto a pagar.

Para realizar esta comparativa se tomarán datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenará la siguiente tabla para documentar los resultados

Tabla II. **Monto destinado al alumbrado público**

Año	Monto	Mantenimiento	Tipo de luminaria
2016			
2017			
2018			
2019			
2020			

Fuente: elaboración propia.

Se realizará una investigación de equipos disponibles en el mercado con aprovechamiento solar, se elegirá la mejor alternativa que se adapte a las necesidades del proyecto, entre los factores a considerar para las alternativas están; precio del equipo, durabilidad de luminarias, tiempo de descarga de baterías para garantizar que se pueda cumplir con el periodo de iluminación necesaria, eficacia lumínica y la vida útil en horas de las luminarias, con ello se realizara un análisis financiero de inversión de equipos, mantenimientos necesarios e instalación de los equipos, se realizaran tablas con las especificaciones técnicas de los equipos para su comparación.

Tabla III. **Especificaciones generales de luminarias con paneles solares**

Características	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Descripción del equipo			
Modelo / Referencia			
Tipo			
Potencia nominal W			
Fotografía del equipo			
Costo del equipo			

Fuente: elaboración propia

Tabla IV. **Especificaciones de paneles solares**

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Voltaje V dc			
Potencia W			
Material			

Fuente: elaboración propia



**Tabla V. Especificaciones de paneles baterías**

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo			
Ciclos de carga			
Tiempo de descarga			
Capacidad en Ah			

Fuente: elaboración propia

**Tabla VI. Especificaciones de luminarias**

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Vida útil en horas			
Temperatura de color en k			
Flujo luminoso Lm			
Eficacia lumínica Lm/W			

Fuente: elaboración propia

Una vez elegida la alternativa adecuada, se procederá a la estimación de gastos de mantenimiento, costo total de compra de los equipos para obtener el monto de inversión inicial, luego con el costo de instalación y costo anual de operación se realizará una tabla donde la alternativa con paneles solares se compare a los mismos montos obtenidos de la municipalidad con el sistema que actualmente opera.

Tabla VII. **Comparativa de sistemas de iluminación**

Descripción	Mantenimiento anual	Monto anual por el servicio	Periodo proyectado
Alternativa			
Sistema actual			
Diferencia			

Fuente: elaboración propia

### 9.5. Fase 3: análisis económico de la propuesta

Con los datos financieros obtenidos de la propuesta recomendable se podrá realizar un análisis financiero del monto al que supondrá la implementación de un sistema de alumbrado con alimentación solar en contra posición al sistema actual, luego, se realizará un análisis financiero con una proyección de 2 y 4 años, con la finalidad de la implementación del sistema de alumbrado público con paneles solares, se emplearán las herramientas VPN, C/B y TIR para realizar las proyecciones.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

$t$  = número de periodo en años

$k$  = tasa de interés, inflación o devaluación

$I_0$  = inversión inicial

$V_t$  = flujo de dinero en cada periodo  $t$

- $C/B > 1$  El proyecto es viable
- $C/B < 1$  El proyecto no es viable
- $C/B = 1$  La opción es indistinta

Donde:

C = costo

B = beneficio

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Donde:

t = tiempo

i = tasas de interés

$R_t$  = flujo neto de efectivo (ingresos menos egresos)

#### **9.6. Fase 4: entrega final**

Se elaborará una monografía de la zona 9 de Mixco, además de presentar el análisis de la alternativa que muestre mayor beneficio a la población del casco urbano de la zona 9 de Mixco.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Tras obtener los datos del estudio se procederá a realizar un análisis de la información financiera obtenida para poder determinar si la implementación del nuevo sistema es viable o no. Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Valor presente neto
- Costo / beneficio
- Tasa de retorno
- Gráficos de líneas para ilustrar y comparar las evaluaciones económicas
- Tablas de comparación

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

- Excel con el comando VPN
- Excel con el comando TIR



## 11. CRONOGRAMA

En el siguiente cuadro se presenta un cronograma preliminar sobre las actividades que se desean llevar a cabo según los objetivos trazados en el inicio del estudio.

Figura 10. Cronograma preliminar de actividades

Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Solicitar información a la municipalidad de Mixco	■	■	■	■																												
2 Elaboración de protocolo					■	■	■	■																								
3 Obtención de información de equipos disponibles									■	■	■	■	■	■	■	■																
4 Comparativa económica de sistema actual contra la propuesta													■	■	■	■	■	■	■	■												
5 Análisis financiero de la propuesta																	■	■	■	■	■	■	■	■								
6 Formulación de resultados																					■	■	■	■	■	■	■	■				
7 Redacción e impresión de trabajo final de tesis																									■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: elaboración propia



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

Tabla VIII. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Dos resmas de hojas	Q 100.00
Viáticos (combustible, hospedaje y alimentación)	Q 2,000.00
Tóner de impresora	Q 500.00
Asesor	Q 2,500.00
<b>TOTAL</b>	<b>Q 5,100.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.





### 13. REFERENCIAS

1. Alvarado, E. y Jaramillo, J. (s. f.). *Sistemas fotovoltaicos para iluminación: sistemas de iluminación en 12 V* (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
2. Blog TECNOSOL. (26 de agosto, 2016). Baterías para energía solar. Conceptos y tipos de baterías. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/#:~:text=Las%20bater%C3%ADas%20para%20energ%C3%ADa%20solar,noche%20y%20en%20d%C3%ADas%20nublados>).
3. Castillo, Y. (2019) *Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de alumbrado público empleando luminarias tipo LED mediante el uso de tecnología fotovoltaica en el municipio de Corozal-Sucre* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.
4. Coloma, C. (2018). *Análisis de factibilidad de paneles solares fotovoltaicos en el parque alborada décima etapa y álamos*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). Decreto número 93-96, Ley General de Electricidad. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala.

6. Dumlux. (15 de febrero, 2019). Alumbrado público led. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://dumlux.com/blog/97-alumbrado-publico-led-debes-saber>
7. Echavarría, B. y Rojas, H. (2019). *Implementación de un sistema de alumbrado público con paneles solares en el municipio de El Peñol, estudio de prefactibilidad* (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.
8. Energía Solar Fotovoltaica. (5 de noviembre, 2014). Luminarias centralizadas. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://sites.google.com/site/energisolrfotovoltaica/>
9. Fernández, A. (16 de noviembre, 2009). Paneles solares: así evolucionan. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://lacienciaes.blogspot.com/2009/11/s2t2-paneles-solares-asi-evolucionan.html>
10. Fernández, I. (19 de abril, 2021). Agro voltaica o Agro fotovoltaica: [Mensaje de un blog]. Aplicación de energía solar en agricultura. Recuperado de <https://www.greenteach.es/agrovoltaica-o-agrofotovoltaica-aplicacion-de-energia-solar-en-agricultura/>
11. Gascueña, D. (19 de junio, 2020.) Cuatro tecnologías que prometen revolucionar la energía solar fotovoltaica. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/cuatro-tecnologias-que-prometen-revolucionar-la-energia-solar-fotovoltaica/>

12. Green energy. (4 de agosto, 2020). Árboles solares. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://greenenergy.com.pe/arboles-solares/>
13. GreenTeach. (19 de abril, 2021). Agro voltaica o agro fotovoltaica: aplicación de energía solar en agricultura. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.greenteach.es/agrovoltaica-o-agrofotovoltaica-aplicacion-de-energia-solar-en-agricultura/>
14. Guerrero, A., Ruvalcaba, J. y Vázquez, I. (2016) *Propuesta de alumbrado con iluminación tipo led y paneles fotovoltaicos Estacionamiento de la DAE (Dirección de Administración Escolar) del I.P.N.* (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México.
15. LBA Industrial. (10 de junio, 2018). Alumbrado público solar. ¿Cómo funciona? Y tipos de luminarias solares. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.lbaindustrial.com.mx/alumbrado-publico-solar/>
16. LEDSOLAR. (s.f.). Proyecto de alumbrado público fotovoltaico. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.ledsolar.com.mx/proyecto-de-alumbrado-publico-fotovoltaico/>
17. Lis Edu. (marzo, 2010). Perspectiva de la energía mareomotriz. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.lis.edu.es/profesional/articulos/detalle/perspectiva-de-la-energia-mareomotriz-marzo-2010.aspx#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20mareomotriz%20es%20la,de%20agua%20de%20los%20mares>

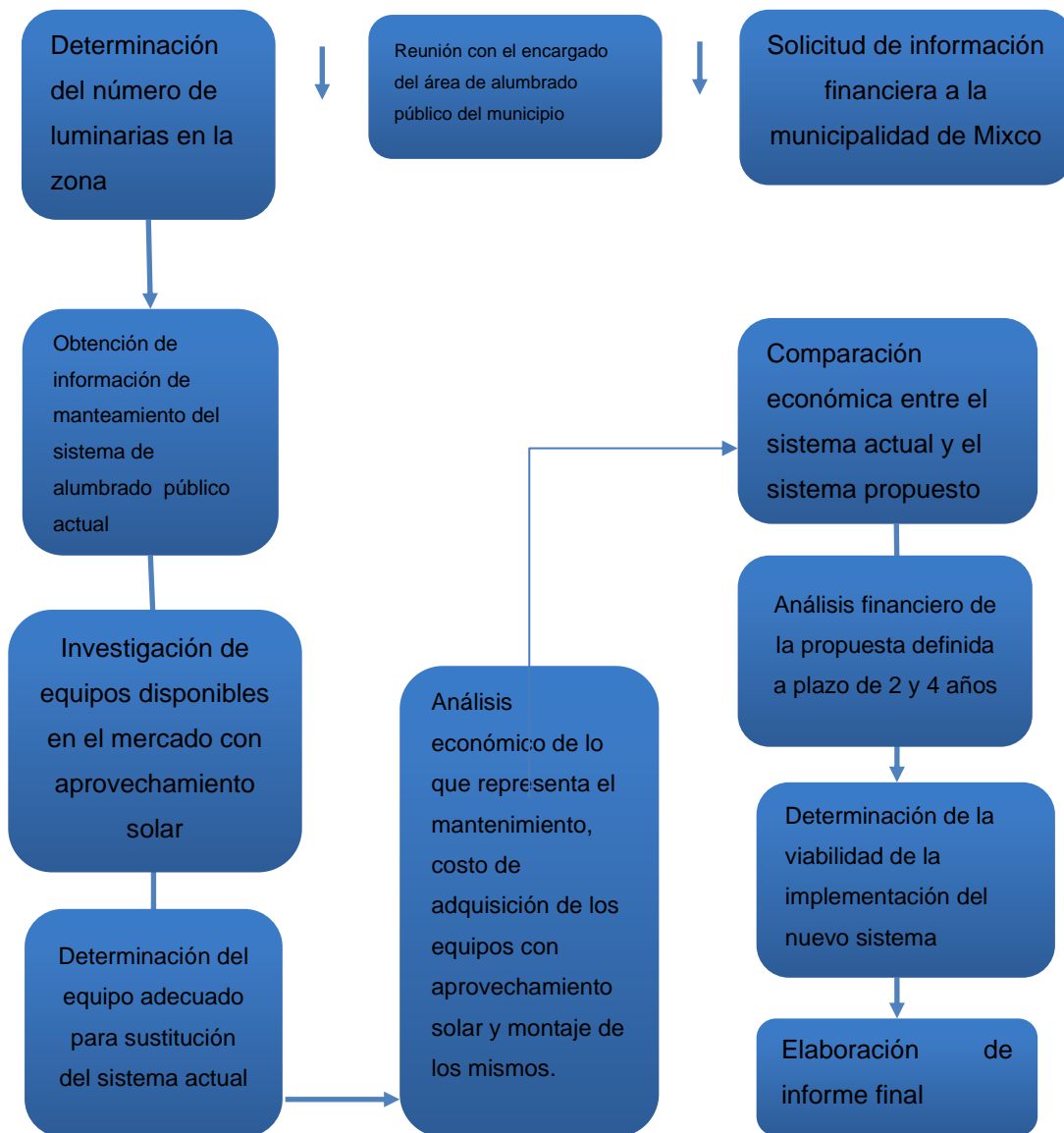
18. López, D. (2018) *Estudio de viabilidad tecnológica y económica del uso de energía fotovoltaica para la iluminación del circuito de Castellolí* (Tesis de licenciatura). Universidad de Valencia, España.
19. Miñarro, J. (2 de julio, 2014). Energía Solar. [Mensaje de un blog]. Recuperado de [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/solar.htm#:~:text=El%20aprovechamiento%20de%20la%20energ%C3%A9tica%20almacenada%20en%20un%20fluido.](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm#:~:text=El%20aprovechamiento%20de%20la%20energ%C3%A9tica%20almacenada%20en%20un%20fluido.)
20. MuniMixco. (s.f.). Plan de Ordenamiento Territorial de Mixco Zona 9. [Mensaje de un blog]. <https://www.munimixco.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/ZONA-9.pdf>
21. NCYT Amazings. (20 de octubre, 2020). Paneles solares. 2020. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://noticiasdelaciencia.com/art/39884/apoyo-a-los-avances-en-las-celulas-solares-en-tandem-de-perovskita>
22. OpenMind BBVA. (19 de junio, 2020). Cuatro tecnologías que prometen revolucionar la energía solar fotovoltaica. [Mensaje de un blog]. Recuperado de: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/cuatro-tecnologias-que-prometen-revolucionar-la-energia-solar-fotovoltaica/>
23. Ortiz, L. (2003). Decreto número 52-2003. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.

24. Ortíz, L. (2005). Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
25. Ossa, G. (2016). *Estudio técnico y financiero para la implementación de sistemas solares de alumbrado público en las zonas comunes de conjuntos residenciales* (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
26. Pineda, J. (17 de abril, 2021) Energía Solar. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.temasambientales.com/2021/04/energia-solar.html>
27. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s. f.) Objetivos de Desarrollo Sostenible. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/sustainable-development-goals.html>
28. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s.f.) Objetivo 7: Energía asequible y sostenible. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-7.html>
29. Samuels, S. (1997). *Apuntes sobre preparación y evaluación de proyectos* (Tesis de licenciatura). Universidad Latinoamericana, México.

30. Sánchez, I. (2020). *Centro Comunitario en la colonia Ciudad Satélite, Zona 9 de Mixco, Guatemala* (Tesis de licenciatura) Universidad del Istmo, Guatemala.
31. SDE Mx. (15 de octubre, 2018). ¿Cómo funciona un panel solar? [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.sde.mx/como-funciona-un-panel-solar/>
32. Umaña, I. (2014). *K'atun Nuestra Guatemala 2032*. Guatemala: Segeplan.
33. Vélez, J. y Figueroa, J. (2015) *Diseño de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar fotovoltaica en la urbanización valle del sol Girardot – Cundinamarca* (Tesis de licenciatura). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia.

## 14. APÉNDICES

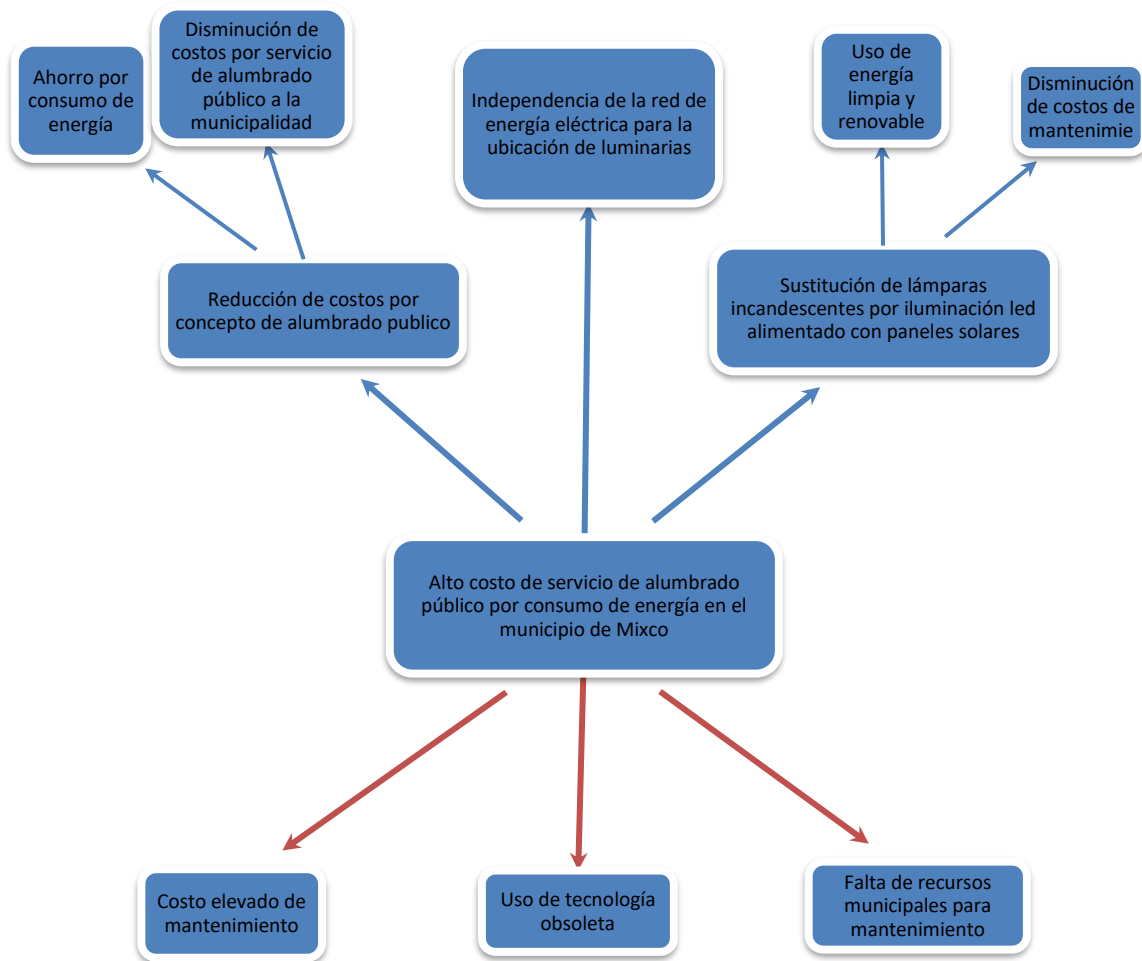
### Apéndice 1. Plan de actividad



Fuente: elaboración propia.



## Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema principal	Preguntas de investigación	Objetivo general	Justificación	Plan de investigación o plan acción
<p>Alto costo de servicio de alumbrado público por consumo de energía en el área urbana de la zona 9 de Mixco</p>	<p><b>Pregunta principal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿Es factible técnica y económicamente la implementación de un sistema de alumbrado público en la zona 9 de Mixco basado en el aprovechamiento de energía solar?</li> </ul> <p><b>Preguntas secundarias</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿Se podrá ahorrar en el consumo de energía eléctrica destinada al alumbrado público con sistemas de iluminación con paneles solares?</li> <li>● ¿Qué características requieren los equipos necesarios para los sistemas de alumbrado con aprovechamiento solar fotovoltaico?</li> <li>● ¿Cuál será el resultado de una evaluación económica en 2 y 4 años para la implementación del sistema de alumbrado público con paneles solares?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Evaluar un estudio técnico financiero para determinar la viabilidad de la implementación de sistemas de alumbrado público con aprovechamiento solar para la zona 9 de Mixco.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Estimar el ahorro por la implementación del sistema de alumbrado público alimentado con paneles solares contra el costo del servicio sistema actual para determinar si existe ahorro en este servicio.</li> <li>● Definir sobre equipos disponibles en el mercado y niveles de radiación solar requerido para su funcionamiento óptimo.</li> <li>● Realizar una evaluación financiera en una proyección de 2 y 4 años para la implementación del sistema de alumbrado público con paneles solares.</li> </ul>	<p>La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de servicios e infraestructura municipal y sublínea de propuesta de mejoramiento de los servicios públicos municipales de la maestría de Ingeniería para el Desarrollo Municipal.</p> <p>La propuesta de uso de tecnologías avanzadas con aprovechamiento solar viene no solo a impulsar el uso de energías limpias, sino que a mejorar el sistema de alumbrado público en espacios abiertos donde la cobertura del servicio eléctrico limite la colocación de luminarias, por ejemplo donde no existan líneas de energía eléctrica, bien sea por difícil acceso o cuya capacidad no permita la expansión del sistema de iluminación pública, lográndose con ello brindar seguridad a la población al iluminar sectores sin este servicio que favorece a la delincuencia al aprovecharse de la penumbra, la población se beneficiaría directamente en contar con mayor cobertura de iluminación pública y la municipalidad en contar con un ahorro significativo en este servicio además de ganar la aprobación de sus resultados por la población en general.</p>	<p>Se realizará una investigación sobre equipos en el mercado que puedan ser empleados para alumbrado público y los requerimientos necesarios para su funcionamiento, costos de mantenimiento, costos de adquisición y costo de instalación. Por último, se hará un análisis de inversión para definir la viabilidad de la implementación del sistema de alumbrado público con una proyección a dos años lo que representaría la mitad de un periodo municipal y a 4 años para evaluar al final del mismo.</p>

Fuente: elaboración propia.

