

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

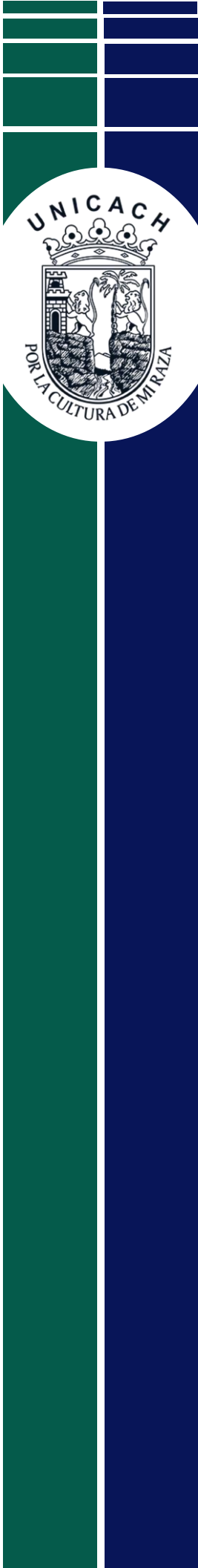
TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
INTERCONECTADO A LA RED PARA UNA VIVIENDA
DE TARIFA 1B”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**PRESENTA:
INGRID GALILEA LÓPEZ CÓRDOVA**

**DIRECTORES DE TESIS:
MTRO. ÓSCAR MARTÍNEZ AGUIRRE
DR. YANHSY HERNÁNDEZ PORTILLO**





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
03 de noviembre del 2025

C Ingrid Galilea López Córdova

Pasante del Programa Educativo de: Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red para una Vivienda de Tarifa 1B.

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

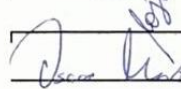
Revisores

Dr. Luis Alberto Hernández Domínguez

Dra. Aracely López Grijalva

Mtro. Óscar Martínez Aguirre

Firmas:

Ccp. Expediente

DEDICATORIA

A mi papá,

Por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, amor y dedicación. Gracias por todo lo que has hecho por mí, por tu apoyo incondicional y por nunca dejarme sola en cada paso de mi camino. Agradezco profundamente tu cariño, tus consejos y cada palabra de aliento que me ha motivado a ser mejor cada día. Gracias por enseñarme el valor del trabajo, la perseverancia y la honestidad; por inculcarme los valores que hoy guían mi vida y que me han permitido llegar hasta aquí. Este logro también es tuyo, porque sin tu esfuerzo, tu confianza y tu amor, nada de esto habría sido posible.

A mis mamás,

Gracias por estar siempre conmigo, por cuidarme con tanto amor y por no soltarme nunca, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por su paciencia infinita, por su comprensión y por todo el cariño con el que han guiado mi camino.

Gracias por estar detrás de mí cada día, por preocuparse, por impulsarme y por recordarme lo valiosa que soy. Todo lo que hago, lo hago con el amor y los valores que ustedes me enseñaron. Las amo con todo mi corazón, y siempre llevaré conmigo todo lo que me han dado.

A mis abuelos,

Con todo mi amor y gratitud, quiero agradecerles por ser una parte fundamental de mi vida. Gracias por su cariño, por sus enseñanzas y por estar siempre presentes, brindándome apoyo y palabras de aliento en cada etapa de mi camino.

A mis queridos perritos,

Gracias por haber estado conmigo desde que era pequeña, acompañándome desde mis primeros días de escuela hasta mi vida universitaria. Aunque no todos pudieron estar para ver la culminación de este logro, siempre estuvieron a mi lado durante todo el camino, brindándome su amor sincero, su compañía y la paz que solo ustedes saben dar.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, por haber sido el espacio donde adquirí los conocimientos, valores y experiencias que contribuyeron a mi formación profesional.

A todos mis profesores, por su dedicación, paciencia y compromiso al compartir sus enseñanzas y acompañarme a lo largo de esta etapa académica

Al Mtro. Óscar Martínez Aguirre, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso durante el desarrollo de este trabajo. Su dedicación y acompañamiento constante fueron fundamentales para la culminación de esta tesis. Gracias por compartir sus conocimientos, por su disposición para resolver mis dudas y por brindarme el apoyo necesario para alcanzar esta meta tan importante en mi formación profesional.

A la Dra. Yanhsy Hernández Portillo, por su valiosa guía, paciencia y compromiso a lo largo de todo este proceso. Su dedicación y profesionalismo fueron una fuente de inspiración para mí. Agradezco el tiempo que me brindó para revisar cada avance, sus observaciones precisas y constructivas, así como el interés mostrado para que este trabajo alcanzara el mejor resultado posible. Gracias por compartir su experiencia.

A mi pareja, por su constante apoyo y comprensión a lo largo de este proceso. Su acompañamiento, tanto en los momentos de avance como en los de mayor dificultad, fue un respaldo valioso que contribuyó significativamente al cumplimiento de esta meta.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	3
1.1. Generalidades	3
1.2. Introducción.....	4
1.3. Antecedentes.....	4
1.3.1. Desarrollo de la Tecnología e Industria Fotovoltaica	4
1.3.2. Crecimiento de los Sistemas Fotovoltaicos en la Industria Internacional ..	6
1.3.3. Crecimiento de los Sistemas Fotovoltaicos en México	8
1.3.4. Tendencia en el Incremento de Costos Eléctricos en Tarifas Domesticas	10
1.3.5. Tendencias en el Incremento de Costos Eléctricos en Tarifa DAC.....	12
1.3.6. Diseño de Sistemas Fotovoltaicos	13
1.4. Problemática.....	15
1.5. Hipótesis.....	15
1.6. Justificación	15
1.7. Objetivos.....	16
1.7.1. Objetivo general.....	16
1.7.2. Objetivos específicos.....	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Introducción.....	17
2.2. Energías Renovables y su Importancia.....	18
2.3. Sol.....	19
2.4. Radiación Global	20
2.5. Radiación Solar en México	20
2.6. Energía Fotovoltaica.....	22
2.6.1. Efecto Fotovoltaico.....	22
2.7. Componentes de un Sistema Fotovoltaico	23
2.8. Sistema Fotovoltaico Aislado	24
2.9. Sistema Fotovoltaico Híbrido.....	25
2.10. Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red	26
2.10.1. Beneficios.....	27

2.11.	Diseño Adecuado para Sistemas Fotovoltaicos	27
2.12.	Regulaciones y Normativas en México	30
2.13.	Tarifas Domésticas en México	33
2.14.	Tipos de Contraprestaciones	34
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		35
3.1.	Introducción.....	35
3.2.	Analizar los Recibos de CFE	35
3.3.	Evaluar la Posibilidad de Futuros Incrementos en la Demanda Energética	35
3.4.	Calcular las Horas Solar Pico.....	35
3.5.	Determinar la Cantidad de Módulos Fotovoltaicos Necesarios para Cubrir el Consumo Total de la Vivienda	37
3.6.	Comparar Diferentes Modelos de Módulos Fotovoltaicos	37
3.7.	Calcular la Capacidad del Inversor.....	37
3.8.	Dimensionar el Cableado y Protecciones Adecuadas para Garantizar la Seguridad y Durabilidad del Sistema.....	38
3.9.	Estimar el Costo Total de Instalación	38
3.10.	Calcular el Periodo de Retorno de Inversión	39
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		40
4.1.	Introducción.....	40
4.2.	Análisis de los Recibos de CFE.....	40
4.3.	Evaluación de los Posibles Incrementos en la Demanda Energética	41
4.4.	Determinación de las Horas Solar Pico del Sitio de Instalación.....	41
4.5.	Cálculo de la Energía Requerida y Cantidad de Módulos Fotovoltaicos	42
4.6.	Comparación de Modelos de Módulos Fotovoltaicos en el Mercado.....	42
4.7.	Determinación de la Capacidad del Inversor	43
4.8.	Dimensionamiento del Cableado y Elementos de Protección	43
4.9.	Estimación del Costo Total del Sistema Fotovoltaico	46
4.10.	Análisis del Periodo de Retorno de Inversión	47
CONCLUSIÓN		49
BIBLIOGRAFÍA.....		51
BIBLIOGRAFÍA DE ILUSTRACIONES.....		56
BIBLIOGRAFÍA DE TABLAS		57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mercado de energía solar fotovoltaica en México, capacidad instalada en GW, de 2013 a 2022 (International Renewable Energy Agency).	10
Ilustración 2: El sol.	19
Ilustración 3: Radiación.	20
Ilustración 4: Radiación solar en México.	21
Ilustración 5: Efecto fotovoltaico.	23
Ilustración 6: Sistema fotovoltaico aislado.	25
Ilustración 7: Componentes de un sistema fotovoltaico híbrido.	26
Ilustración 8: Componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a red.	27
Ilustración 9: Tarifas residenciales de CFE.	33
Ilustración 10: Irradiancia del módulo fotovoltaico.	36
Ilustración 11: Irradiancia solar promedio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.	36
Ilustración 12: Facturación anual de CFE.	41
Ilustración 13: Ficha técnica del módulo fotovoltaico.	43
Ilustración 14: Cuadro de amperaje que soportan los cables de cobre.	44
Ilustración 15: Ficha técnica del inversor.	45
Ilustración 16: Historial de pagos a CFE.	47
Ilustración 17: Retorno de inversión.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Capacidad Anual Instalada (GW) de Energía Solar Fotovoltaica por Región (2020–2023).	8
Tabla 2: Cuadro comparativo de radiación solar (2014).	21
Tabla 3: Cotización del sistema fotovoltaico	46

Resumen

La tesis titulada “Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red para una Vivienda de Tarifa 1B” tiene el propósito de optimizar el aprovechamiento de la energía solar, reducir significativamente el costo de la factura eléctrica y garantizar la autosuficiencia energética del usuario, cumpliendo con la normatividad vigente y evaluando la viabilidad técnica y económica del sistema. Actualmente, el consumo bimestral del hogar oscila entre 3,500 hasta 6,000 pesos mexicanos, por lo que se busca diseñar un sistema eficiente y económicamente viable que cubra en totalidad la demanda energética.

Para ello, se realizó un análisis del consumo eléctrico mediante el historial de facturación, identificando los patrones de uso de energía. Después, se llevó cabo la selección de módulos fotovoltaicos, inversores y otros componentes del sistema con base en criterios técnicos y económicos. Los cálculos realizados permitirán optimizar el sistema para garantizar y maximizar la producción de energía solar, de modo que el usuario ya no tenga que depender del suministro eléctrico de la CFE (Comisión Federal de Electricidad), sino que consuma únicamente la energía generada por sus módulos fotovoltaicos.

Este proyecto contempló aspectos como el impacto ambiental de la generación fotovoltaica y la normativa vigente en México para la interconexión con la red eléctrica. Al finalizar el proyecto, se espera que el usuario solo pague el costo mínimo de 50 a 60 pesos bimestrales que la CFE cobra por interconectarse a la red. Con este estudio se busca proporcionar una solución sustentable que pueda replicarse en hogares con características similares, fomentando el aprovechamiento de la energía solar y contribuyendo a la transición energética del país.

Abstract

The thesis entitled “Sizing of a Grid-Connected Photovoltaic System for a Household with Tariff 1B” aims to optimize the use of solar energy, significantly reduce electricity bill costs, and ensure the user’s energy self-sufficiency, while complying with current regulations and evaluating the technical and economic feasibility of the system. Currently, the household’s bimonthly electricity consumption ranges from 3,500 to 6,000 Mexican pesos, so the goal is to design an efficient and economically viable system that fully meets the energy demand.

To achieve this, an analysis of the electrical consumption was carried out using the billing history, identifying the energy usage patterns. Then, the selection of photovoltaic modules, inverters, and other system components was performed based on technical and economic criteria. The calculations made will optimize the system to ensure and maximize solar energy production, so that the user no longer depends on the CFE (Comisión Federal de Electricidad) supply, but instead consumes only the energy generated by their photovoltaic modules.

This project also considered aspects such as the environmental impact of photovoltaic generation and the current regulations in Mexico regarding grid interconnection. By the end of the project, it is expected that the user will only pay the minimum interconnection fee of 50 to 60 pesos bimonthly charged by the CFE. This study seeks to provide a sustainable solution that can be replicated in households with similar characteristics, promoting the use of solar energy and contributing to the country’s energy transition.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. Generalidades

Las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse.

Por el contrario, los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas, constituyen fuentes de energía no renovables que tardan cientos de millones de años en formarse. Los combustibles fósiles producen la energía al quemarse, lo que provoca emisiones dañinas en forma de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono.

La generación de energías renovables produce muchas menos emisiones que la quema de combustibles fósiles. Una transición de los combustibles fósiles, los cuales representan en la actualidad la mayor parte de las emisiones, a energías renovables resulta fundamental para abordar la crisis producida por el cambio climático.

Hoy en día, las energías renovables son más baratas en la mayoría de los países y generan tres veces más puestos de trabajo que los combustibles fósiles [1].

Las energías renovables utilizan un combustible totalmente gratuito, como es el sol, el viento o el agua, y tienen unos costes de funcionamiento inferiores a los de las centrales fósiles.

La producción de electricidad a partir de energías renovables se ha abaratado tanto porque los precios de los módulos fotovoltaicos y los aerogeneradores, así como de otros componentes utilizados para construir instalaciones de producción de energía renovable, han disminuido en los últimos años [2].

México se ha convertido en un país proveedor exponencial de energía solar. La radiación solar en México tiene un alto nivel y es que más del 85% de nuestro país cuenta con condiciones óptimas para aprovechar la energía solar.

Esto permite que el país tenga la oportunidad de aprovechar la energía solar como una fuente de energía alternativa limpia, y al mismo tiempo disminuir el uso de energía eléctrica convencional que daña al medio ambiente [3].

1.2. Introducción

En este capítulo se abordarán temas como el desarrollo de la tecnología fotovoltaica, que ha permitido mejorar la eficiencia y accesibilidad de los módulos fotovoltaicos, así como el crecimiento en su uso en hogares debido a sus beneficios económicos y ambientales. Además, se analizarán las tendencias en el incremento de los costos de electricidad, lo que ha llevado a más personas a buscar alternativas como la energía solar para reducir sus gastos en facturación.

1.3. Antecedentes

1.3.1. Desarrollo de la Tecnología e Industria Fotovoltaica

El primer descubrimiento clave en la historia de los módulos fotovoltaicos ocurrió en 1839, cuando Alexandre Edmond Becquerel, un físico francés, descubrió el efecto fotovoltaico. Observó que ciertos materiales generaban una pequeña cantidad de electricidad cuando se exponían a la luz solar. Aunque este descubrimiento fue importante, en ese momento no se comprendía completamente su potencial.

En 1883, Charles Fritts, un inventor estadounidense, construyó la primera célula solar funcional utilizando una delgada capa de selenio recubierta de oro. Esta célula solar logró una eficiencia de conversión de alrededor del 1%, lo que la convirtió en el precursor de los módulos fotovoltaicos modernos [4].

En 1866, Augustin Mouchot, investigador francés, construyó a mitad del siglo XIX una máquina capaz de extraer la energía solar de manera práctica. En 1866, después de seis años de trabajo, produjo el primer colector solar parabólico de la historia. Su funcionamiento era muy simple: los rayos solares se concentraban mediante un conjunto de espejos en una caldera con agua. Cuando el agua hervía, el vapor que se producía accionaba un motor a vapor.

En 1873, Willoughby Smith, ingeniero eléctrico nacido en Inglaterra, descubre la fotoconductividad del selenio, invento que permitió que se diese la invención de la célula fotovoltaica tiempo más tarde, en 1876.

En 1883, otro gran avance vino por parte del neoyorquino Charles Fritts, el cual fabricó un módulo solar compuesto por selenio y revestido de pan de oro. Este

artefacto generó una corriente continua, a la exposición tanto de la luz directa solar como de la luz difusa.

La eficiencia de este módulo oscilaba entre el 1 y el 2%, niveles muy bajos si tenemos en cuenta la actual eficiencia energética [5].

Fue una época de gran esplendor científico y tecnológico. No obstante, tras aquella primera célula fotovoltaica de selenio, hubo que esperar hasta 1953 para crear la primera basada en el silicio. Esto supuso una gran revolución. La célula solar de silicio producía suficiente electricidad. También era lo suficientemente eficiente para hacer funcionar dispositivos eléctricos [6].

En la década de 1950, los científicos de los Bell Labs, Gerald Pearson, Calvin Fuller y Daryl Chapin, desarrollaron el primer módulo solar fotovoltaico moderno. Utilizaron silicio como material semiconductor para crear una célula solar más eficiente. Esta célula solar alcanzó una eficiencia de conversión del 6% y se convirtió en un hito importante en la historia de los módulos fotovoltaicos [4].

En 1956, cuando estas tecnologías comenzaron a comercializarse, el precio de los módulos fotovoltaicos era muy alto para la mayoría de las personas. Sin embargo, a medida que la investigación y el desarrollo continuaron, los costes comenzaron a disminuir gradualmente.

Fue durante la década de 1960 cuando las placas solares encontraron una aplicación práctica. Fue en la industria aeroespacial, particularmente en la fabricación de satélites por parte de Estados Unidos y la Unión Soviética [6].

En la década de 1970, los módulos fotovoltaicos se utilizaron ampliamente en aplicaciones espaciales. Los primeros satélites, como el Vanguard 1 y el Telstar, fueron impulsados por la energía solar.

Durante las décadas de 1990 y 2000, se lograron avances significativos en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Los investigadores desarrollaron nuevas tecnologías, como las células solares de silicio policristalino y monocristalino, que mejoraron la conversión de la luz solar en electricidad [4].

Para 2010, las compañías de Energía Solar fotovoltaica han fabricado 24.000 megavatios de células fotovoltaicas en todo el mundo, más del doble de la producción del 2009. La producción anual de energía fotovoltaica creció casi 100 veces desde el año 2000, cuando sólo se fabricaron 277 megavatios de células fotovoltaicas. La recién instalada energía fotovoltaica también estableció un récord en 2010, dónde se instalaron 16.600 MW en más de 100 países [7].

En la última década, la energía solar ha experimentado una explosión en su adopción y popularidad. Los avances tecnológicos han llevado a una reducción significativa en los costos de los módulos fotovoltaicos, lo que los hace más accesibles para los consumidores y las empresas. Además, se han desarrollado nuevos diseños y materiales, como las células solares de película delgada y los módulos fotovoltaicos flexibles, que permiten su integración en una amplia gama de aplicaciones [4].

1.3.2. Crecimiento de los Sistemas Fotovoltaicos en la Industria Internacional

La energía solar fotovoltaica se consolidó como una de las tecnologías renovables más relevantes a nivel mundial. En 2011, la capacidad instalada global era de 70.47 GW, y para 2021 esta cifra se elevó a 940 GW, lo que representó un crecimiento de más del 1,200% en una década. Parte de este crecimiento se debió a la simplicidad en los procesos de instalación y tramitación, lo cual facilitó su adopción masiva. En ese mismo periodo, los costos de instalación descendieron significativamente, pasando de 4,104 \$/kW en 2011 a 857 \$/kW en 2021, haciendo las instalaciones más accesibles y rentables.

En Europa, la capacidad instalada también mostró un crecimiento importante: de 106.7 GW en 2017 a 159.9 GW en 2021, es decir, un incremento del 48.9%. España se posicionó como el octavo país del mundo en capacidad instalada y el segundo en Europa, solo detrás de China (377.1 GW) y Estados Unidos (122.1 GW).

Durante esta década, China dominó el mercado global tanto en la fabricación como en la instalación de tecnología solar, posicionándose como el mayor proveedor de módulos fotovoltaicos e inversores [8].

El año 2022 fue histórico: se añadieron 239 GW de nueva capacidad solar a nivel mundial, lo que representó un crecimiento del 45% respecto a 2021. Nunca antes se había instalado tanta capacidad solar en un solo año [9].

En 2023, las instalaciones solares se casi duplicaron con respecto a 2022, alcanzando 447 GW de nueva capacidad, lo que supuso un aumento del 87%. Esta cifra fue tan significativa que, por sí sola, habría podido cubrir más de la mitad de la demanda eléctrica de India o superar el consumo total de Brasil. En Europa, las nuevas instalaciones de 2023 podrían haber abastecido el consumo anual de países como Suecia, Países Bajos, Bélgica, Finlandia, Chequia, Austria, Portugal y Grecia combinados.

Durante este año, la energía solar representó el 78% de la capacidad renovable instalada a nivel global. Además, los 10 principales mercados concentraron el 80% de las instalaciones, predominando las economías avanzadas. A pesar del crecimiento, las economías emergentes apenas captaron el 15% de la inversión global en energía limpia, lo que evidenció una desigualdad significativa en el desarrollo solar.

China continuó siendo el motor global del crecimiento, con 253 GW instalados solo en 2023, lo que representó el 57% del total global. A su vez, un aumento masivo en la capacidad manufacturera provocó una caída del 50% en los precios de los módulos fotovoltaicos, y una mayor consolidación industrial en ese país [10].

El año 2024 marcó un hito por los avances tecnológicos, cambios regulatorios y una mayor conciencia ambiental, lo que impulsó aún más el crecimiento del sector.

Entre los principales logros destacaron:

- La mejora en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, gracias a tecnologías como las células de perovskita y los módulos fotovoltaicos bifaciales.
- La optimización de procesos de instalación, con el uso de inteligencia artificial y big data.

Estos avances consolidaron a la energía solar como una de las soluciones más sostenibles y viables para afrontar el cambio climático y asegurar un suministro energético estable y resiliente [11].

Tabla 1: Capacidad Anual Instalada (GW) de Energía Solar Fotovoltaica por Región (2020–2023).

Año	Total Global	Crecimiento Global Anual (%)	China	Asia-Pacífico	América	Europa	Medio Oriente y África
2020	139	–	60	25	20	25	9
2021	164	+18%	75	30	25	25	9
2022	239	+46%	120	40	35	30	14
2023	447	+87%	253	75	50	50	19

1.3.3. Crecimiento de los Sistemas Fotovoltaicos en México

México se posicionó en los últimos años como uno de los países con mayor potencial para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, gracias a su privilegiada irradiación solar promedio anual de 6.36 kWh/m² por día. Esta condición, junto con un entorno favorable de inversión, generó un crecimiento del 533% en la generación de energía solar fotovoltaica a nivel nacional, consolidando al país en una etapa clave de transición energética

Durante el año 2021, México alcanzó una capacidad total instalada de 6,160 MW. Esta cifra reflejó el impacto de los proyectos tanto públicos como privados y la consolidación de la energía solar como fuente clave dentro del mix energético nacional. La mayoría de estos desarrollos se concentraron en regiones del norte del país, especialmente en zonas áridas y desérticas, donde las condiciones solares son óptimas [12].

En 2022, la capacidad instalada alcanzó aproximadamente los 9 GW, cifra impulsada por la implementación de proyectos solares a escala de servicios públicos, así como por el crecimiento del mercado residencial y comercial. Este avance fue respaldado por programas gubernamentales como el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2021–2035, el cual buscaba aumentar la generación de energía limpia y reducir las emisiones contaminantes. El crecimiento sostenido en este año evidenció una clara intención por diversificar la matriz energética nacional y reducir la dependencia de combustibles fósiles [13].

Al cierre de 2023, el país superó los 3,000 MW de capacidad instalada bajo esquemas de generación distribuida, con un total de 411,085 contratos de interconexión registrados ante la Comisión Reguladora de Energía (CRE). Este avance fue significativo en el contexto de los objetivos nacionales en materia de energías renovables, que apuntaban a alcanzar un 35% de participación renovable en la generación de electricidad para 2024 y un 50% hacia 2050. La solar fotovoltaica no solo se consolidó como una opción técnica y económicamente viable, sino como una solución prioritaria frente al cambio climático y la seguridad energética.

Durante los últimos años, algunos factores como la limitada disponibilidad de terrenos en zonas óptimas y el desarrollo insuficiente de la red eléctrica representaron obstáculos para un desarrollo solar aún más amplio. Pese a ello, las proyecciones para el periodo 2024–2029 indicaron un crecimiento sostenido, con una expansión de la capacidad instalada solar de 10.67 GW en 2024 a 16.35 GW en 2029, con una tasa compuesta anual del 8.91% [12].

Los parques solares a gran escala también jugaron un rol fundamental en el crecimiento del sector. Estos proyectos generaron múltiples beneficios, entre ellos, la creación de empleos locales, el fortalecimiento económico de comunidades, y la mejora de la seguridad energética mediante la diversificación de fuentes. Además, contribuyeron significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los compromisos internacionales de México para combatir el cambio climático, mejorar la calidad del aire y proteger la salud pública, sobre todo en áreas urbanas altamente contaminadas [14].

En el ámbito de la generación distribuida, la energía solar fotovoltaica continuó dominando el mercado, con una participación del 99.33%, muy por encima de tecnologías como biomasa, cogeneración, eólica, hidroeléctrica o combustibles fósiles. Esta tendencia reflejó la facilidad de instalación, la disminución de costos y el creciente interés por parte de consumidores residenciales e industriales.

El análisis del perfil de consumo energético en México mostró que los principales consumidores fueron la pequeña y mediana industria, el sector residencial y las grandes empresas. Estos sectores representaron una oportunidad clave para la integración de soluciones solares, especialmente si se consideran las condiciones actuales de financiamiento accesible y políticas públicas favorables. La energía solar, además de ser una opción limpia y sustentable, se presentó como una estrategia para mejorar la competitividad, reducir costos operativos, reducir costos de la facturación eléctrica, el cual ha ido en aumento, y fomentar una cultura energética responsable [12].

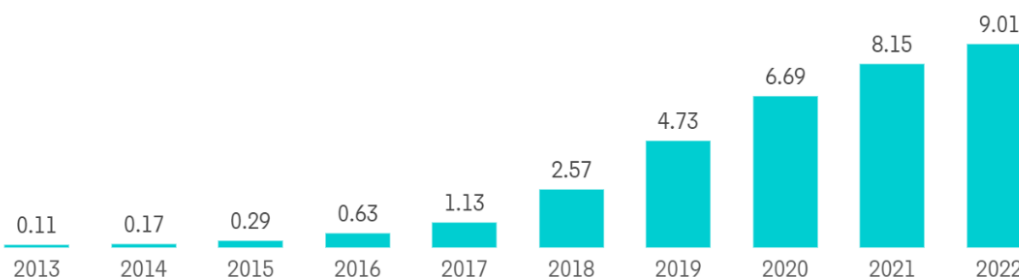


Ilustración 1: Mercado de energía solar fotovoltaica en México, capacidad instalada en GW, de 2013 a 2022 (International Renewable Energy Agency).

1.3.4. Tendencia en el Incremento de Costos Eléctricos en Tarifas Domesticas

Los cargos de las tarifas para uso doméstico son determinados por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) con base en la metodología descrita en el Acuerdo 123/2017, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 2018. Las tarifas domésticas de bajo consumo se incrementan mensualmente con un factor que, al término de 12 meses, equivale a la inflación

anual observada en el mes de noviembre de cada año. Con ello se cumple la instrucción presidencial de no incrementar las tarifas por encima de la inflación.

Durante el verano hay un aumento de subsidio en ciertos territorios debido a que el consumo se eleva por el uso de equipos de refrigeración. Al término de ese periodo el subsidio que se hace a los usuarios regresa a sus rangos habituales. El ajuste de la tarifa en ciertos servicios se debe a esta razón [15].

Sin embargo, en junio de 2024, la tarifa doméstica de consumo básico registró un crecimiento anual de 6.2%, porcentaje por arriba de la inflación estimada para ese mes, que osciló el 5% (4.8% hasta la primera quincena de mayo).

La tarifa doméstica comenzó a superar a la inflación en marzo de 2023, cuando la CFE informó que el precio de la electricidad para los hogares aumentaría 7.3% en comparación del mismo mes del año anterior, mientras que la inflación general de precio se ubicó en 6.9%.

Posteriormente, la inflación comenzó a mostrar una tendencia a la baja, sin embargo, el costo de la tarifa doméstica mostró resistencia a disminuir.

De manera desagregada, se pudo observar que el mayor incremento para junio de 2024 se percibió en el consumo básico, ya que los consumidores debieron pagar 1.035 pesos por cada uno de los primeros 75 kilowatts-hora consumidos. Además, esta es la primera vez que la tarifa 1 de consumo básico superó la barrera de un peso [16].

Para la industria en México el inicio de este 2025 ha sido un reto en materia energética, luego de que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) implementó un aumento significativo en sus tarifas eléctricas. Este ajuste, propuesto en el Paquete Económico 2025 por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), busca responder a la creciente demanda eléctrica y garantizar tarifas competitivas para los usuarios.

El ajuste de tarifas responde a factores como el aumento en el costo de los combustibles fósiles, fluctuaciones en los tipos de cambio y el incremento en los costos de operación de la infraestructura energética nacional.

Sin embargo, este incremento es el más elevado en los últimos cinco años, el cual afectará de manera importante a grandes consumidores del sector industrial con un aumento promedio que oscila entre el 8% y el 12%.

El aumento en las tarifas de la CFE representa un reto importante para el sector industrial en 2025, también presenta una oportunidad para evolucionar hacia un modelo energético más moderno, eficiente y sostenible [17].

1.3.5. Tendencias en el Incremento de Costos Eléctricos en Tarifa DAC

En meses anteriores, muchos usuarios residenciales se enfrentaron a un incremento en sus recibos de luz debido al cambio de la Tarifa 1 a la Tarifa DAC, tal como lo anunció la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México.

Este cambio, que entró en vigor tras el fin del subsidio de la pandemia en mayo de 2023, se empezó a hacer efectivo desde mitad de año del 2024 según la CFE y afectó significativamente las facturas de aquellos hogares que sobrepasaron los límites de consumo establecidos para la Tarifa 1.

El esquema tarifario mexicano de consumo energético lo establece la Comisión Federal de Electricidad y está segmentado según el consumo y las actividades económicas. Es decir, las tarifas de la CFE, se usan para medir el consumo energético, tanto de los hogares como de los negocios y tienen diversos límites de consumo de energía eléctrica. Adicional, también se consideran, según la ubicación geográfica de la propiedad.

La tarifa 1, es la más económica para usuarios residenciales y está parcialmente subsidiada por el gobierno.

La CFE define a la tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) a aquella que se aplica a los servicios domésticos que registran mayor consumo mensual del límite superior promedio permitido por las tarifas domésticas que se aplican en tu localidad.

Si el consumo de energía mensual de un usuario estaba dentro de los límites de la tarifa DAC, en algunos casos, recibía el subsidio del gobierno de la pandemia, por el cual se le cobraba su recibo de luz como si estuviera en la tarifa 1. Sin embargo,

dado que este subsidio ya no está en vigencia, ahora, su consumo se facturará según la tarifa DAC real, que es considerablemente más alta.

La segmentación de tarifas indica que, si consumes más de los límites establecidos para la tarifa 1 en tu ciudad o estado, tu facturación cambiará a la tarifa DAC. La tarifa DAC es significativamente más costosa que la tarifa 1.

Con la eliminación de los subsidios, hubo un aumento significativo en las facturas de electricidad en el sector residencial. Aunque aún existían algunos subsidios durante los meses de verano debido a las altas temperaturas y el aumento en el consumo, el impacto general fue un aumento en los costos. Esto se debe a que el cálculo se realiza con el consumo del último año, periodo en el que el acuerdo de subsidios ya no estaba vigente. Por lo tanto, los usuarios que consumían niveles dentro de la tarifa DAC ahora se enfrentaron a esta tarifa (DAC) sin subsidios [18].

Los costos asociados a la Tarifa DAC dependen de la región y de la temporada del año. Durante el verano, los precios por kilowatt-hora pueden ser más elevados. Algunas de las tarifas establecidas para marzo de 2025 incluyen:

- Baja California: \$6.584/kWh en verano y \$5.656/kWh fuera de verano.
- Baja California Sur: \$7.174/kWh en verano y \$5.656/kWh fuera de verano.
- Región Central: \$6.771/kWh
- Noroeste: \$6.345/kWh
- Norte y Noreste: \$6.182/kWh
- Sur y Peninsular: \$6.278/kWh

Para evitar un incremento en el costo de la electricidad, es fundamental mantener un consumo mensual promedio por debajo del límite de alto consumo fijado para cada región [19].

1.3.6. Diseño de Sistemas Fotovoltaicos

Judy Elizabeth Quevedo Irazábal en 2021 realizó un diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red para una fábrica de vinos de mortiño llamada “El

último Inca” ubicada en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, en donde se registra un promedio de 4.65 kWh/ m² /día de irradiancia global, esa empresa consume un promedio diario de 30.60 kWh/ día.

Determinó un total de 37 módulos fotovoltaicos de 320 W y para calcular el número de inversores usó datos como la potencia de los módulos fotovoltaicos y la potencia de salida del inversor, el cual era de 3000 W. Cálculo un total de 4 inversores para este diseño [20].

Ivonn Alejandra Ramírez García en 2022 realizó un dimensionamiento para un sistema fotovoltaico interconectado a red que consta de 32 módulos fotovoltaicos de 350 W, orientado al sur, con una inclinación de 10 grados y de estructura tipo coplanar en la región de San Bernabé, Monterrey.

Para esto tomo en cuenta datos como las horas solares pico en dicha localidad, realizó un análisis de generación donde tomo en cuenta el valor de consumo promedio en el Estado de Nuevo León bimestrales y lo multiplico por 6 para sacarlo de forma anual y posteriormente calculo la cantidad de módulos fotovoltaicos y otros componentes necesarios para el sistema [21].

En un proyecto realizado por Pedro Gamaliel Hilario Venegas y Getsemaní de Jesús Hernández Rivera en 2024, se diseñó un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red para un hotel ubicado en Acapulco, Guerrero.

Con la finalidad de reducir los costos y disminuir la huella de carbono, los autores diseñaron un sistema trifásico que produce 45,026 kWh al mes, utilizando módulos fotovoltaicos de 550 W, para esto se necesitaron aproximadamente 522 módulos fotovoltaicos y 3 inversores SUN2000-100KTL-M1 de 100kW [22].

Candy Rodríguez Pérez, estudiante de Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables, en 2024, realizó un proyecto en el cual calculo la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para tarifa 1B con consumo básico (250 kW bimestrales), intermedio (450 kW bimestrales), excedente (800 kW bimestrales) y DAC (4,800 kW anual).

Propuso 2, 3, 5 y 12 módulos fotovoltaicos respectivamente para cada tipo de consumo.

Los módulos fotovoltaicos propuestos fueron de la marca JA SOLAR, modelo JAM54S30-415/LR para el consumo básico y JAM72S30-530/MR para consumo intermedio, excedente y DAC [23].

1.4. Problemática

El alto consumo energético en la vivienda, debido al uso de múltiples electrodomésticos, genera facturas elevadas y el riesgo de ser reclasificada a la Tarifa de Alto Consumo (DAC), lo que aumentaría aún más los costos de electricidad. La Tarifa DAC implica perder los subsidios eléctricos, resultando en pagos considerablemente más altos. En caso de caer en esta clasificación, el proceso para regresar a la Tarifa 1B tomaría 12 meses consecutivos con un consumo dentro del límite establecido por la CFE. Esta situación se agrava por el constante incremento en las tarifas eléctricas, el cual ha sido mayor al índice de inflación, afectando significativamente el presupuesto familiar. Además, se ha considerado la posibilidad de incorporar más electrodomésticos en el futuro, lo que llevó a sobredimensionar el sistema fotovoltaico como una medida preventiva para cubrir el aumento proyectado en la demanda eléctrica y evitar una clasificación desfavorable en el esquema tarifario de la CFE.

1.5. Hipótesis

Si se realiza un diseño adecuado de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red para una vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, considerando las condiciones de radiación solar de la zona y el consumo eléctrico actual y futuro del hogar, entonces será posible cubrir el 100% de la demanda energética.

1.6. Justificación

El costo bimestral de 6,000 pesos representa una carga económica considerable. La instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red permite reducir este gasto al generar electricidad a partir de la energía solar.

Un dimensionamiento adecuado es clave para garantizar la eficiencia del sistema, evitando costos innecesarios por sobredimensión o falta de cobertura por subdimensión. Con un diseño optimizado, se puede maximizar la producción de energía, cubrir la demanda del hogar y reducir la facturación eléctrica.

Este proyecto contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la demanda de electricidad generada a partir de combustibles fósiles, disminuyendo así las emisiones de carbono y promoviendo una transición hacia el uso de energías limpias.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para una vivienda con tarifa 1B en Tuxtla Gutiérrez, con el fin de aprovechar la energía solar y reducir el costo de facturación bimestral de electricidad a un pago mínimo por interconexión ante CFE y a su vez garantizando la autosuficiencia energética del hogar.

1.7.2. Objetivos específicos

- Analizar el consumo energético de la vivienda a partir del historial de facturación de la CFE.
- Determinar el potencial energético de la zona de estudio, considerando la radiación solar disponible en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, para garantizar un óptimo aprovechamiento del sistema.
- Realizar los cálculos de dimensionamiento y seleccionar los componentes adecuados del sistema fotovoltaico.
- Analizar la rentabilidad del sistema, teniendo en cuenta los costos iniciales, el tiempo para recuperar la inversión.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

En los últimos años, el uso de energías renovables se ha vuelto fundamental debido al impacto ambiental que generan los combustibles fósiles y su futura escasez. Entre estas fuentes, la energía solar fotovoltaica ha destacado como una alternativa limpia y sostenible para la generación de electricidad, permitiendo su aplicación en distintos sectores.

En este capítulo se explican los conceptos fundamentales para entender el funcionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red y su importancia. Primero, se introduce el tema de las energías renovables y su papel en la transición energética. Luego, se abordan los principios básicos de la energía solar fotovoltaica, describiendo el efecto fotovoltaico y los principales componentes de un sistema, como los módulos fotovoltaicos, inversores y demás elementos necesarios para su correcto funcionamiento.

También se analizan los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos, como los sistemas aislados, híbridos e interconectados a la red, enfocándonos en estos últimos por ser el objetivo de este proyecto. Se explican sus beneficios, limitaciones y las normativas que regulan su instalación y operación en México.

Por último, se revisan las tarifas eléctricas domésticas en México y los distintos esquemas de contraprestación que permiten reducir los costos de facturación de los usuarios con sistemas fotovoltaicos interconectados. Todo esto servirá como base teórica para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico propuesto

2.2. Energías Renovables y su Importancia

La energía es la base en el problema del cambio climático y también algo fundamental para su solución.

Los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas, son con diferencia los mayores causantes del cambio climático global, ya que son responsables de más del 75 % del total de emisiones de gases globales de efecto invernadero y cerca del 90 % de todas las emisiones en dióxido de carbono.

Las fuentes de energías renovables, que se encuentran en abundancia en nuestro entorno, ya sean aportadas por el Sol, el viento, el agua, los residuos o el mismo calor de la Tierra, son renovadas por la propia naturaleza y emiten pocos (o ninguno) contaminantes o gases de efecto invernadero en el aire.

Los combustibles fósiles dan cuenta todavía de más del 80 % de la producción de energía en todo el mundo, aunque las fuentes de energía más limpias cada vez ganan más fuerza. Cerca del 29 % de la electricidad proviene actualmente de fuentes de energía renovables [24].

El desarrollo de las energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y limitar sus efectos más devastadores. El 2022 fue el quinto año más cálido desde que existen registros y el octavo año consecutivo en que las temperaturas globales han aumentado al menos 1 grado centígrado.

En paralelo, unos 775 millones de personas en el mundo carecen todavía de acceso a la electricidad (2022), lo que requiere un amplio esfuerzo adicional en el despliegue de las energías limpias para lograr el acceso universal a la electricidad en 2030, uno de los objetivos de desarrollo sostenible aprobados por Naciones Unidas, particularmente en el África subsahariana [25].

Acelerar el ritmo hacia una transición a energías limpias, como la energía fotovoltaica, prepara el camino hacia un planeta con un estado más sano y habitable, tanto hoy en día como para las generaciones venideras [24].

2.3. Sol

El Sol, por ser la estrella más cercana a la Tierra, es fundamental para la vida en nuestro planeta, ya que es la principal fuente de energía (calor y luz).

El Sol es una de los mil millones de estrellas que existen en el Universo. Su gravedad es tan grande que mantiene a todos los cuerpos de Sistema Solar en constante movimiento alrededor de sus órbitas.

Esta enorme esfera de gas incandescente está formada principalmente de hidrógeno y helio. La energía que irradia proviene de su centro o núcleo en donde se transforma la materia en energía. Esto sucede gracias a que, en el núcleo del Sol, la presión es más de mil veces la de la atmósfera terrestre, la densidad es 160 veces la del agua y la temperatura es de alrededor de 16 millones de grados centígrados.

Se calcula que en el interior del Sol cada segundo se transforma más de cuatro millones de toneladas de materia en energía. La energía resultante de las reacciones termonucleares viaja desde el centro hasta la superficie del Sol, donde es radiada en forma de luz al espacio circundante. La Tierra intercepta una pequeña cantidad de este enorme flujo de energía [26].



Ilustración 2: El sol.

2.4. Radiación Global

La radiación global es la radiación solar total que incide sobre una superficie horizontal. Se compone de radiación directa y radiación difusa. La radiación global se puede medir con un piranómetro. Por regla general, la radiación es más fuerte al mediodía que por la mañana y por la tarde, y es más fuerte en verano que en invierno. Además, cuanto más cerca esté del ecuador, más fuerte será la radiación global. Por ejemplo, Alemania tiene un valor anual de 900-1200 kWh/m² de radiación global, mientras que en España es de unos 2000 kWh/m² [27].

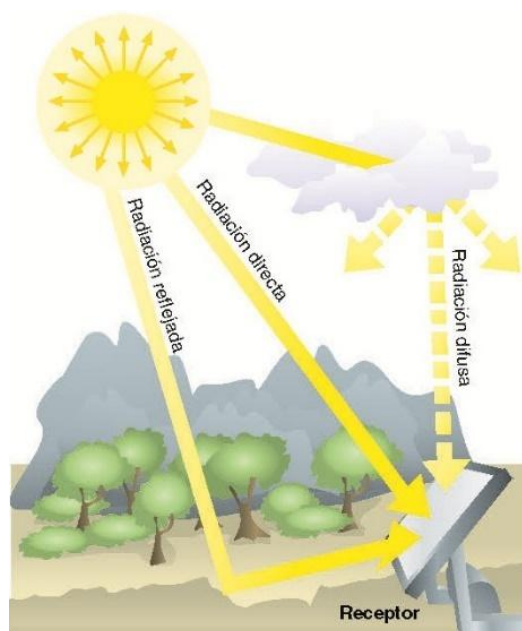


Ilustración 3: Radiación.

2.5. Radiación Solar en México

La manera de medir el potencial de energía solar que un territorio tiene, es a través de la radiación solar. México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 kWh/m² (la unidad de medición de radiación solar).



Ilustración 4: Radiación solar en México.

A pesar de que México tiene un territorio 5.5 veces mayor que Alemania y una radiación 5.0 veces superior, la energía solar generada en el país europeo es superior.

Con respecto a China, a pesar de que México tiene un territorio 4.9 veces menor, tiene una radiación solar promedio 1.2 veces mayor. Sin embargo, la energía solar generada es menor de la China [28].

Tabla 2: Cuadro comparativo de radiación solar (2014).

País	Tamaño del territorio (km^2)	Radiación solar (kWh/m^2)
China	9,597,000	4.5
Alemania	357,376	1.1
México	1,964,000	5.5

El año 2024 marcó un hito para la energía solar. Las instalaciones solares globales alcanzaron casi los 600 GW, un impresionante aumento del 33% con respecto al 2023.

La energía solar representó el 81% de toda la nueva capacidad de energía renovable añadida a nivel mundial. La capacidad solar instalada a nivel mundial superó los 2 TW en 2024.

La mayor parte de la expansión se ha concentrado en la región de Asia y el Pacífico, liderada por China, creando disparidades cada vez mayores entre las regiones. En 2024, el mercado solar chino creció un 30%, alcanzando los 329 GW, mientras que Oriente Medio y África instalaron menos capacidad que el 2023 [29].

2.6. Energía Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia que utiliza la radiación solar para producir electricidad.

Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18 % y un 20 %. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva a una eficiencia media de entre un 8 % y un 9 % pero también un precio menor [30].

2.6.1. Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico consiste en la producción de corriente eléctrica por medio de dos materiales que se encuentran expuestos a la radiación electromagnética.

El proceso fotovoltaico ocurre en los módulos fotovoltaicos, específicamente en las celdas de los módulos, a través de este se genera corriente continua, para que después pase a los inversores. Comienza cuando las células fotovoltaicas de los módulos fotovoltaicos, los cuales están hechos de un material semiconductor llamado *silicio*, reciben la radiación solar la cual es absorbida, provocando el salto de los electrones de una capa hacia otra, generando corriente eléctrica.

De manera más específica, cuando el fotón del sol hace impacto con el electrón de la órbita del átomo de silicio en la célula fotovoltaica. La energía del fotón es recibida por el electrón, de manera que este último es capaz de que venga la energía con la que lo atrae su núcleo o valencia. Ahora que el electrón quedó libre del átomo, este viaja por el material semiconductor formando de esta manera la corriente continua.

La corriente eléctrica comienza cuando el electrón se libera y comienza a desplazarse por el material semiconductor de la placa solar. El átomo queda incompleto hasta que lo complete un otro electrón de otro átomo [31].

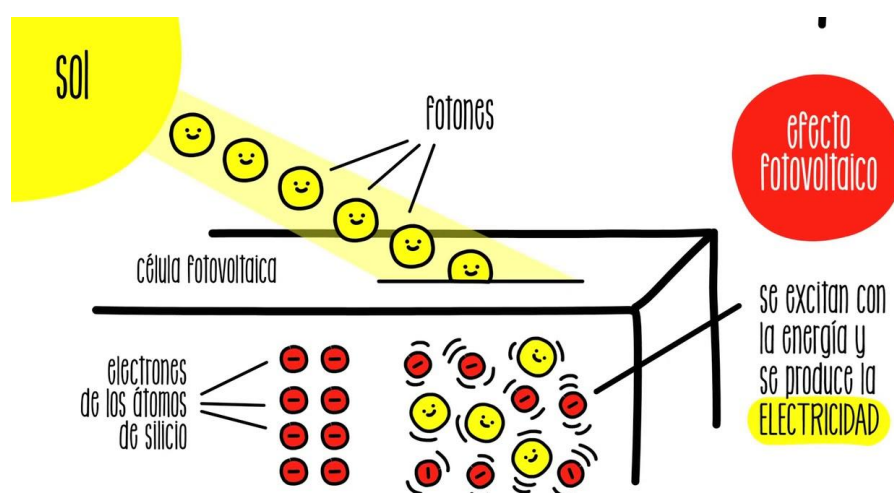


Ilustración 5: Efecto fotovoltaico.

2.7. Componentes de un Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un sistema que convierte energía solar en eléctrica mediante placas fotovoltaicas, formadas por células solares, que generan una corriente continua al exponerse a la luz solar. Incluye inversores para convertir la corriente continua en alterna y baterías para acumular energía.

- Módulos fotovoltaicos: Contienen células solares fabricadas con materiales semiconductores que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua.
- Cableado: El cableado conecta los distintos componentes para que circule la electricidad de los módulos fotovoltaicos al inversor, de la batería al inversor, y a la instalación eléctrica.

- Inversores: Los inversores solares convierten la electricidad de corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos, o la obtenida de la batería, en corriente alterna para uso doméstico o comercial.
- Controladores de carga (opcional): Los controladores de carga regulan la tensión y la corriente que va a la batería para cargarla y evitar la sobrecarga. Se utilizan en instalaciones aisladas de la red.
- Baterías (opcional): Las baterías almacenan el exceso de electricidad generada por los módulos fotovoltaicos para utilizarla cuando la producción solar es baja o por la noche. En sistemas aislados se utilizan baterías de plomo ácido, AGM (Absorbent Glass Mat - Fibra de Vidrio Absorbente) y Gel.
- Estructuras de soporte: Las estructuras de soporte sostienen y fijan los módulos fotovoltaicos en tejados o en el suelo. Están fabricadas con aluminio y aluminio anodizado, mayoritariamente. Los formatos de las estructuras son coplanares (sin inclinación), inclinadas en diferentes ángulos e incluso con seguimiento (seguidores solares).
- Sistemas de monitorización: Los sistemas de monitorización realizan un seguimiento del rendimiento y la producción del sistema de energía solar, proporcionando datos y avisos para el mantenimiento. También permiten tareas de revisión y soporte a distancia por internet [32].

2.8. Sistema Fotovoltaico Aislado

Una instalación fotovoltaica aislada es un sistema de autoconsumo que genera electricidad a partir de módulos fotovoltaicos sin estar conectados a la red pública. Estos sistemas autónomos se instalan cuando existe conexión a la distribución general o en lugares remotos donde la conexión a la red es poco estable o es muy cara.

Componentes

- Placas solares fotovoltaicas
- Estructura de aluminio
- Cableado y conectores eléctricos

- Regulador de carga
- Baterías solares
- Inversor solar
- Sistema de monitorización [33].

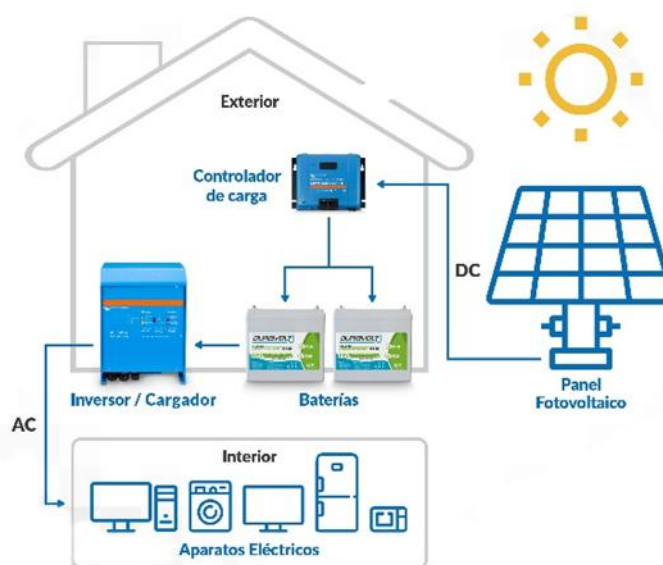


Ilustración 6: Sistema fotovoltaico aislado.

2.9. Sistema Fotovoltaico Híbrido

Un sistema fotovoltaico híbrido es un tipo de instalación fotovoltaica que se caracteriza por juntar los beneficios de un sistema conectado a red y de un sistema aislado. El sistema fotovoltaico híbrido produce energía en paralelo a su red eléctrica, pero también le brinda la posibilidad de almacenar energía en baterías solares.

Es un tipo de sistema conectado a la red que cuenta con la particularidad de integrar un inversor híbrido. Este inversor híbrido cumple la función de adaptar la corriente generada por su arreglo de módulos fotovoltaicos conectados e inyectarlo a los consumos de la vivienda o empresa de forma paralela a la red eléctrica.

También cuenta con una entrada para baterías. A diferencia de un inversor de interconexión común, el inversor híbrido permite almacenar y gestionar el almacenamiento de energía eléctrica en un banco de baterías. De esta forma se puede contar con energía disponible cuando exista una caída de la red eléctrica [34].

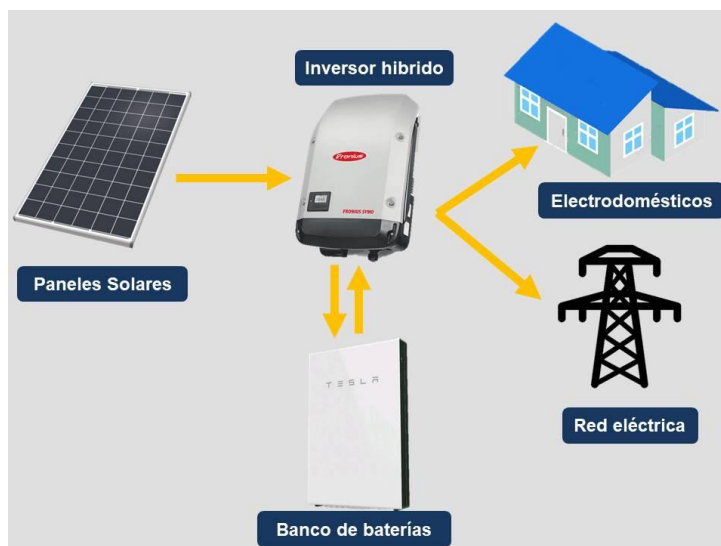


Ilustración 7: Componentes de un sistema fotovoltaico híbrido.

2.10. Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red

Un sistema de módulos fotovoltaicos interconectados a la red es simplemente un sistema que está conectado a la red eléctrica de CFE y, por lo tanto, utiliza la electricidad tanto del sistema de módulos fotovoltaicos como de la red eléctrica. Debido a esto, un sistema solar interconectado no tiene que satisfacer todas las demandas de electricidad del hogar.

Si es necesario, la casa puede extraer energía de la red en momentos (como en días nublados o en la noche) cuando los módulos fotovoltaicos no están produciendo con la máxima eficiencia. De la misma manera, si se genera más energía de la necesaria por los módulos fotovoltaicos de una casa, ese exceso de energía será alimentado a la red y se abonará.

Funcionamiento:

- Los módulos fotovoltaicos capturan los rayos del sol convirtiéndolos en energía limpia.
- El inversor convierte la corriente directa (DC) en alterna (AC)
- La corriente alterna (AC) viaja al centro de carga para ser utilizada.
- El medidor bidireccional cuantifica la energía inyectada a la red.
- El exceso de energía se envía a CFE y se abona al siguiente recibo [35].



Ilustración 8: Componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a red.

2.10.1. Beneficios

- **Beneficios ambientales:** Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red producen limpia y energía renovable. No emiten gases de efecto invernadero ni otros contaminantes, lo que los convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente para la generación de electricidad.
- **Beneficios económicos:** Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red tienen una ventaja económica sobre otras formas de generación de electricidad, como los combustibles fósiles. El coste de los módulos fotovoltaicos ha disminuido considerablemente, haciendo que la instalación de estos sistemas sea cada vez más asequible y al generar su electricidad, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red pueden reducir significativamente las facturas de energía de hogares y empresas.
- **Fácil de instalar:** Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son fáciles de instalar y requieren un mantenimiento mínimo.
- **Creación de empleo:** El crecimiento de la industria fotovoltaica conectada a la red ha creado puestos de trabajo en fabricación, instalación y mantenimiento [36].

2.11. Diseño Adecuado para Sistemas Fotovoltaicos

El dimensionamiento de módulos fotovoltaicos es un paso crucial en el proceso de diseño de un sistema fotovoltaico. Es el proceso de determinar la cantidad de

módulos fotovoltaicos, inversor y otros componentes necesarios para satisfacer el consumo energético específico de un edificio o una instalación. El proceso de dimensionamiento también incluye la consideración de factores como el tamaño y la orientación de los módulos, la disponibilidad de luz solar y la eficiencia de los componentes del sistema. El dimensionamiento de módulos fotovoltaicos es esencial para garantizar que un sistema fotovoltaico sea eficiente, efectivo y rentable.

Al dimensionar correctamente los módulos fotovoltaicos, se puede asegurar que el sistema produzca suficiente energía para cubrir las necesidades del usuario.

Si se utilizan demasiados o menos módulos fotovoltaicos de lo que se debería, el sistema podrá no funcionar de manera óptima. Por ejemplo, si se utilizan demasiados módulos, el sistema puede ser demasiado grande para el área disponible, lo que resulta en un desperdicio de espacio y de dinero.

Por otro lado, si se utilizan pocos módulos, el sistema puede no producir suficiente energía para satisfacer las necesidades del usuario, lo que resulta en una dependencia de la energía de la red.

Otro beneficio importante del dimensionamiento adecuado es la maximización del rendimiento del sistema. Un dimensionamiento del sistema ayudará a aprovechar al máximo la luz solar disponible, lo que resulta en un rendimiento óptimo.

Asimismo, puede ayudar a reducir los costos totales del sistema esto gracias a que se evita el desperdicio de espacio y de inversión [37].

Una parte importante y poco estudiada en los sistemas fotovoltaicos es la estructura sobre la cual van montados los módulos fotovoltaicos. La estructura que soporta un módulo fotovoltaico cumple dos funciones importantes:

- Proporcionar a los módulos fotovoltaicos la consistencia mecánica adecuada y un buen sistema de anclaje.
- Proporcionar la orientación e inclinación óptimas para la aplicación.

Para seleccionar la estructura más adecuada para un caso en específico hay que tener en cuenta varios factores desde donde se va a instalar (sobre suelo, sobre

techo, etc.) y los esfuerzos a los que va a estar sometido, los esfuerzos son ocasionados por agentes atmosféricos, fundamentalmente la fuerza ejercida por el viento, por lo cual los fabricantes especializados en estructuras ofrecen los rompe vientos para aminorar dichos esfuerzos.

Las estructuras se pueden clasificar dependiendo del lugar en donde se van a colocar, pueden ser:

- Sobre suelo: Es empleado generalmente en sistemas donde se pretenden colocar una gran cantidad de módulos fotovoltaicos, una de sus principales ventajas es la facilidad de montaje, entre sus inconvenientes se encuentra que si no se realiza un buen estudio de sombras los módulos quedan expuestos a sombreados de un módulo a otro cuando el ángulo de elevación de los módulos fotovoltaicos es reducido.
- Sobre mástil o poste: Se emplea para arreglos pequeños de uno o dos módulos generalmente para luminarias públicas, antenas repetidoras, etc.
- Sobre pared: Es un tipo de instalación utilizado para instalación de módulos en fachadas de viviendas o edificios orientados al sur, en este tipo de instalaciones ya no se utilizan rompe vientos debido a que la parte posterior de los módulos se encuentra protegida contra el viento
- Sobre tejado o losa: Este tipo de instalación es similar a la instalación sobre suelo siempre y cuando la losa o tejado se encuentre en forma horizontal, si la instalación es sobre una superficie inclinada al ángulo óptimo del lugar y orientada al sur. Es necesario dejar espacio para la circulación de aire entre el arreglo fotovoltaico y la losa o tejado para facilitar la circulación del calor producido por los módulos [38].

Los materiales para las estructuras fotovoltaicas dependen de las soluciones que están otorgando:

- Acero galvanizado: El acero es uno de los principales materiales de una estructura fotovoltaica, este está recubierto de zinc lo cual lo hace ideal para

resistir a los diferentes climas en México. Otros de los beneficios de este material son resistencia, rigidez, poco mantenimiento, resistencia a la corrosión y mayor tiempo de vida útil

- Aluminio: Igualmente, el aluminio es un material altamente recomendable entre los materiales de una estructura fotovoltaica, gracias a sus grandes propiedades y ventajas que aporta como ligereza, resistencia, conductividad térmica y versatilidad [39].

Otros factores se deben considerar en el diseño de un sistema fotovoltaico son:

- Ubicación geográfica y condiciones climáticas: La posición de los módulos fotovoltaicos es crítica para la productividad del sistema. Factores como el clima, la orientación y la presencia de sombras pueden afectar la captación de energía.
- Selección de módulos fotovoltaicos: La eficiencia de los módulos es crucial, especialmente en espacios limitados.

Inversores: El inversor es clave en el esquema fotovoltaico, ya que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), existen inversores centrales y microinversores, estos últimos, por ejemplo, son ideales para instalaciones con sombras parciales, ya que optimizan el rendimiento de cada módulo individual [40].

2.12. Regulaciones y Normativas en México

- NOM-001-SEDE-VIGENTE. Instalaciones eléctricas

Esta norma dictamina los estándares que se deben cumplir en una instalación eléctrica, así como cuestiones específicas en sistemas fotovoltaicos en el artículo 690 “sistemas solares fotovoltaicos” y de interconexión a la red eléctrica que marca el artículo 705 “fuentes de generación de energía eléctrica interconectadas”.

- CFE G0100-04 Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30kW.

Es una norma directamente de CFE la cual tiene como objetivo:

- 1) Definir los Requerimientos para el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica (SFVI).
 - 2) Garantizar la seguridad del personal.
 - 3) Garantizar la calidad de la energía en la red.
 - 4) Garantizar la integridad física y operacional de la red eléctrica y de los SFVI (Sistemas Fovoltaicos Interconectados)
- NOM-009-STPS-Vigente. Condiciones de seguridad para realizar trabajos en alturas.

Por lo regular las instalaciones se llevan a cabo en azoteas o lugares altos, se debe considerar la NOM-009 STPS, en la cual se encuentra el equipo de seguridad necesario para realizar las actividades, así como lineamientos que se deben cumplir para que los trabajadores puedan realizar la instalación sin poner en riesgo su integridad física.

- NOM-029-STPS-Vigente. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

Esta norma tiene como objetivo “Establecer las condiciones de seguridad para la realización de actividades de mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevarlas a cabo y a personas ajenas a dichas actividades que pudieran estar expuestas”, y aplica en todos los centros de trabajo donde se realicen actividades de mantenimiento a instalaciones eléctricas, ya sean permanentes o provisionales.

- NOM-017-STPS-Vigente. Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

Tiene como objetivo “Establecer los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud”, de igual forma, esta norma

nos dictamina el equipo de protección que el trabajador debe de portar al momento de realizar la instalación, como es el casco, guantes, botas, etc., y especialmente el equipo debe de ser dieléctrico.

- Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW de la SENER (DOF-15-XII-2016)

Tiene como objetivo “Establecer los lineamientos generales en materia administrativa y de infraestructura que deberán cumplir los Distribuidores, Generadores Exentos y Generadores que representen Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW para realizar la interconexión de sus Centrales Eléctricas a las Redes Generales de Distribución de manera ágil y oportuna, garantizando las condiciones de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional”, este manual es de orden público e interés general.

- La Comisión Reguladora de Energía expide, las disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida.

Estas Disposiciones administrativas de carácter general (las Disposiciones) tienen como objetivo:

1. Establecer los lineamientos generales en materia de Generación Distribuida.
2. Definir el modelo de Contrato que celebran el Distribuidor y el Solicitante para la interconexión de Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 Mega watts (MW) a las Redes Generales de Distribución.
3. Establecer las especificaciones técnicas generales requeridas en materia de Generación Distribuida.
4. Autorizar el modelo de Contrato que celebran el Suministrador de Servicios Básicos y el Generador Exento para determinar la contraprestación aplicable por la energía eléctrica entregada a las Redes Generales de Distribución.

5. Desarrollar la metodología para determinar la contraprestación aplicable por la energía eléctrica entregada [41].

2.13. Tarifas Domésticas en México

Para uso doméstico, existe actualmente un esquema tarifario vigente de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que se divide en ocho tarifas, que son las siguientes:

Domésticas: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F

Domésticas de alto consumo: DAC

Las letras sirven para indicar las diferentes regiones en México, ya que cada una varía en cuanto a su temperatura mínima promedio mensual y dependiendo del tipo de tarifa será el subsidio aplicable a la misma.

Tarifa doméstica 1: Se aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo con lo establecido en la Tarifa DAC [42].

Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC):

- Esta tarifa es asignada tomando en cuenta el último año de tu consumo, es decir, 12 meses.
- No cuenta con subsidio gubernamental y carece de algún apoyo
- Su costo es elevado comparado con las diversas tarifas [43].

Tarifas de Luz Domésticas CFE		
Tarifa	Limite de cosumo para aplicación de Tarifa DAC	Temperatura media mínima en verano
Tarifa 1	250 Kwh al mes	menor a 25°C
Tarifa 1A	300 Kwh al mes	25°C
Tarifa 1B	400 Kwh al mes	28°C
Tarifa 1C	850 Kwh al mes	30°C
Tarifa 1D	1000 Kwh al mes	31°C
Tarifa 1E	2000 Kwh al mes	32°C
Tarifa 1F	2500 Kwh al mes	33°C
Tarifa DAC	De exceder el limite de Kwh establecidos	-

Ilustración 9: Tarifas residenciales de CFE.

2.14. Tipos de Contraprestaciones

- Medición Neta de Energía (Net Metering)

El cliente consume y genera energía en un mismo contrato de suministro. Esta energía se resta a tu consumo.

- Facturación Neta (Net Billing)

La energía consumida que CFE entrega al cliente es independiente de la energía que el cliente genera y vende a CFE; es decir, no se resta a tu consumo.

- Venta total de Energía

El cliente vende a CFE toda la energía generada. No existe un contrato de suministro del cliente con CFE [44].

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Introducción

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red, con el objetivo de aprovechar la energía solar y reducir al mínimo el costo de facturación eléctrica.

Para ello, se inicia con el análisis del consumo eléctrico del hogar a partir del historial de facturación de CFE, lo que permite determinar la cantidad de energía que debe generar el sistema. Posteriormente, se realiza el cálculo y selección de los módulos fotovoltaicos, inversor, cableado y protecciones eléctricas, considerando criterios técnicos y normativos. Además, se evalúa la viabilidad económica del sistema para asegurar su rentabilidad a largo plazo.

3.2. Analizar los Recibos de CFE

Se recopilaron los recibos de electricidad de la vivienda correspondientes a los últimos 12 meses, es decir, 6 recibos, ya que son bimestrales. A partir de ellos, se calculó el consumo total anual en kWh, identificando variaciones estacionales.

$$kWh \text{ anual} = \text{Suma de los 6 ultimos periodos de kwh consumidos en el recibo}$$

Ecuación 1

3.3. Evaluar la Posibilidad de Futuros Incrementos en la Demanda Energética

Se proyectó mediante un cuestionario el posible aumento en el consumo energético al considerar la inclusión futura de aparatos como aires acondicionados, lo cual influye en el dimensionamiento del sistema.

3.4. Calcular las Horas Solar Pico

Para calcular las horas solar pico (HSP) se usó la siguiente ecuación:

$$HSP = \frac{I_{solar}}{I_{módulo}}$$

Ecuación 2

Donde:

I_{solar} : Índice solar de la region (kWh/m^2)

$I_{módulo}$: Irradiancia del módulo (kWh/m^2)

Generalmente la irradiancia del módulo fotovoltaico es de $1 kWh/m^2$ en condiciones estándares de temperatura (STC).

ELECTRICAL DATA | STC*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m² spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Ilustración 10: Irradiancia del módulo fotovoltaico.

La irradiancia solar promedio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, es de aproximadamente $5 kWh/m^2$, este dato se obtuvo de la plataforma Global Solar Atlas.

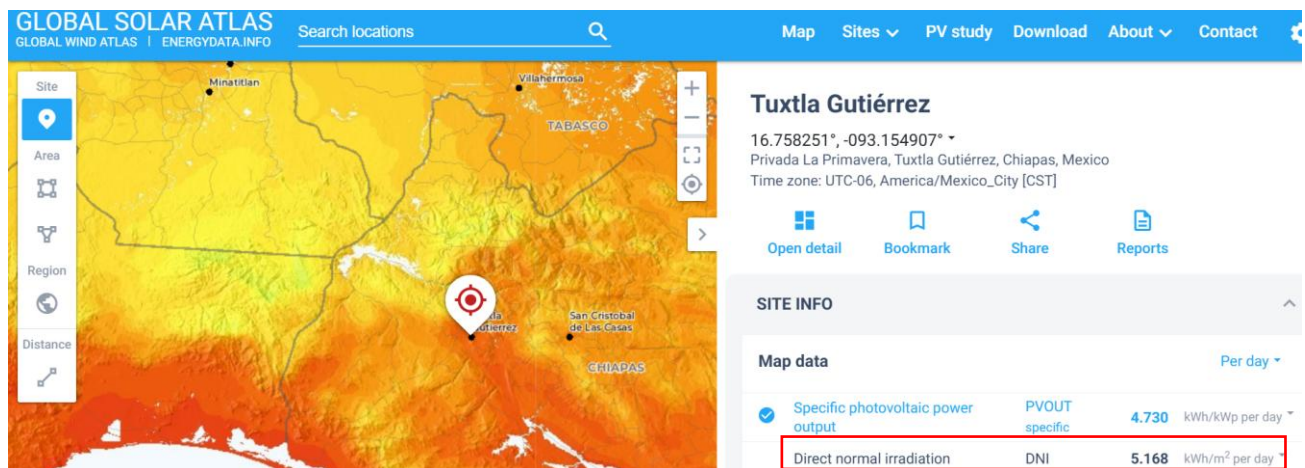


Ilustración 11: Irradiancia solar promedio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

3.5. Determinar la Cantidad de Módulos Fotovoltaicos Necesarios para Cubrir el Consumo Total de la Vivienda

Con base en el consumo energético anual, la cantidad de días que hay en el año (365), las horas solar pico, un factor de seguridad del 0.77, el cual es un factor de pérdidas del sistema fotovoltaico, este número proviene de la eficiencia global del sistema, que suele estar en el rango de 0.75 a 0.80 (75%–80%) y se le conoce como factor de desempeño, y la potencia del módulo fotovoltaico, la cual es de 555W, se calculó el número total de módulos fotovoltaicos requeridos para cubrir el 100 % del consumo energético.

Cálculo de potencia fotovoltaica:

$$\text{Energía promedio diario} = \frac{\text{kWh consumidos en un año}}{365 \text{ días}} \quad \left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right)$$

Ecuación 3

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Energía promedio diario} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right)}{H.S.P * 0.77} \quad (\text{kWp})$$

Ecuación 4

$$\text{Cantidad de módulos fotovoltaicos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del módulo fotovoltaico}}$$

Ecuación 5

3.6. Comparar Diferentes Modelos de Módulos Fotovoltaicos

Se analizaron diversas opciones de módulos fotovoltaicos, evaluando su relación costo-beneficio, vida útil y garantía, con el fin de elegir el más adecuado para el proyecto.

3.7. Calcular la Capacidad del Inversor

Se calculó la capacidad del inversor con base a la potencia del módulo, cantidad de módulos fotovoltaicos y un factor de sobredimensionamiento del 20%.

$$Potencia\ del\ inversor = \frac{Potencia\ del\ módulo * Cantidad\ de\ módulos}{1.20}$$

Ecuación 6

3.8. Dimensionar el Cableado y Protecciones Adecuadas para Garantizar la Seguridad y Durabilidad del Sistema

Se determinaron los calibres necesarios de los cables y se escogieron protecciones eléctricas.

Para determinar el calibre del cable se usó la ecuación 7, donde el I_{sc} (Intensidad de cortocircuito) aparece en la ficha técnica del módulo y el 125% es un factor de seguridad.

El resultado se multiplicó de nuevo por el factor de seguridad ya que los conductores deben tener una capacidad de conducción de corriente de al menos el 125% de la corriente ajustada previamente calculada, para que el conductor tenga suficiente capacidad de soportar la corriente en condiciones continuas y seguras:

Esto es de acuerdo a la NOM 001 SEDE 2012, artículo 690-8.

$$I_{sc} * 1.25 * 1.25$$

Ecuación 7

La protección ITM (Interruptor termomagnético) se calculó con los datos de V_{oc} (Voltaje de circuito abierto) e I_{sc} del módulo fotovoltaico.

$$Tension = V_{oc} * Cantidad\ de\ modulos\ fotovoltaicos\ en\ serie * 1.20$$

Ecuación 8

$$Corriente = I_{sc} * 1.25$$

Ecuación 9

3.9. Estimar el Costo Total de Instalación

Se hizo un presupuesto completo del proyecto, incluyendo el costo de los equipos, la instalación, permisos con la CFE y posibles gastos adicionales.

3.10. Calcular el Periodo de Retorno de Inversión

Con base en el ahorro estimado anualmente y el costo de instalación, se calculó el tiempo que tomará recuperar la inversión inicial mediante reducción de pagos a CFE.

$$n = \frac{\ln \left(1 + \frac{I * g}{C_0 - P} \right)}{\ln (1 + g)}$$

Ecuación 10

Donde:

C_0 = gasto anual actual en CFE

P = pago anual con paneles

g = incremento anual de la tarifa de CFE equivalente al 9%

n = número de años para el retorno de inversión

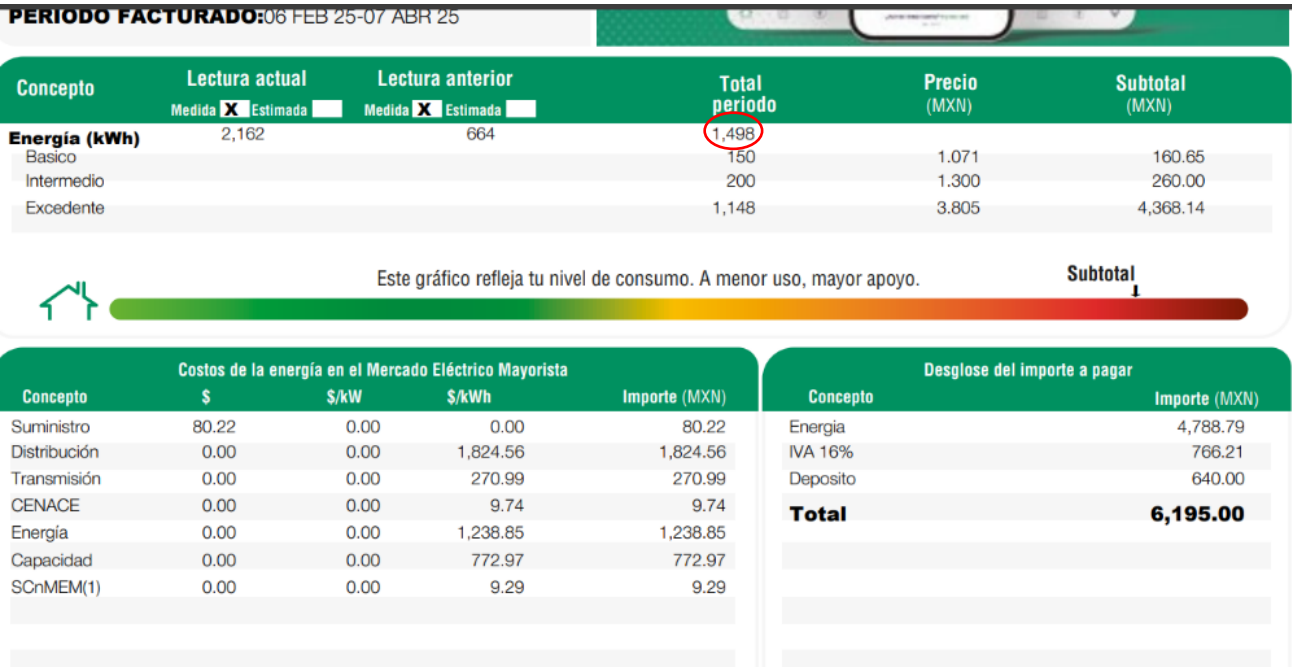
I = inversión inicial del sistema

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis del historial de consumo eléctrico del usuario, con el fin de conocer el comportamiento energético y establecer la base para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Posteriormente, se muestran los procedimientos y cálculos realizados para determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios, la capacidad del inversor y la selección de protecciones eléctricas adecuadas. Finalmente, se expone el cálculo del retorno de inversión, con el propósito de evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema diseñado, comprobando que este cumpla con los objetivos establecidos y represente una alternativa eficiente y sustentable para la reducción del consumo eléctrico.

4.2. Análisis de los Recibos de CFE



Período	kWh	Importe	Pagos	Pendientes de Pago
del 09 DIC 24 al 06 FEB 25	664	\$2,495.00	\$2,495.00	
del 09 OCT 24 al 09 DIC 24	394	\$672.00	\$672.00	
del 08 AGO 24 al 09 OCT 24	1132	\$3,468.00	\$3,468.00	
del 06 JUN 24 al 08 AGO 24	693	\$1,560.00	\$1,560.00	
del 08 ABR 24 al 06 JUN 24	1069	\$3,152.00	\$3,152.00	
del 08 FEB 24 al 08 ABR 24	458	\$924.00	\$924.00	
del 07 DIC 23 al 08 FEB 24	168	\$202.00	\$202.00	
del 06 OCT 23 al 07 DIC 23	400	\$668.00	\$668.00	
del 07 AGO 23 al 06 OCT 23	762	\$1,777.00	\$1,777.00	
del 07 JUN 23 al 07 AGO 23	944	\$2,493.00	\$2,493.00	
del 07 ABR 23 al 07 JUN 23	583	\$1,017.00	\$1,017.00	

Ilustración 12: Facturación anual de CFE.

Se realizó el cálculo de los kWh consumidos en un año con los valores proporcionados en la facturación de CFE, como se muestra en la Ilustración 12.

$$kWh \text{ anual consumido} = 1,069 + 693 + 1,132 + 394 + 664 + 1,498 = 5,460 \text{ kWh}$$

4.3. Evaluación de los Posibles Incrementos en la Demanda Energética

Durante la aplicación del cuestionario al usuario, se le consultó si tenía previsto instalar en el futuro más equipos eléctricos que incrementaran su consumo energético. Esta pregunta se realizó con el objetivo de determinar si existía la necesidad de considerar un sistema fotovoltaico de mayor capacidad. El usuario respondió de manera negativa, indicando que no planea añadir más equipos en su vivienda, por lo que se concluye que el dimensionamiento actual del sistema es suficiente para cubrir su demanda sin necesidad de proyectar una ampliación de módulos fotovoltaicos a corto o mediano plazo.

4.4. Determinación de las Horas Solar Pico del Sitio de Instalación

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, la irradiación normal directa es de aproximadamente 5 kWh/m^2 .

Para calcular las horas solar pico se usó la Ecuación 2.

$$HSP = \frac{5 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kWh/m}^2} = 5$$

Para cuestiones de diseño se tomó el valor de 4.5 ya que el valor exacto puede variar según el año y mes.

4.5. Cálculo de la Energía Requerida y Cantidad de Módulos Fotovoltaicos

Primero se obtuvo el valor de $14.93 \frac{kWh}{dia}$, como se observa en la Ecuación 3.

$$Energia\ promedio\ diario = \frac{kWh\ consumidos\ en\ un\ año}{365\ días} = \frac{5,460}{365} = 14.93 \frac{kWh}{dia}$$

Posteriormente se calculó la potencia fotovoltaica mediante la Ecuación 4.

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{14.93 \frac{kWh}{dia}}{4.5\ hrs/dia * 0.77} = 4.30\ kWp$$

Finalmente se obtuvieron la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para el sistema mediante la Ecuación 5.

$$Cantidad\ de\ módulos\ fotovoltaicos = \frac{4.30\ kWp}{0.555\ W} = 7.27\ módulos$$

Se redondeo a 8 módulos fotovoltaicos de 555 W.

4.6. Comparación de Modelos de Módulos Fotovoltaicos en el Mercado

Se realizó una comparación entre diversas marcas de módulos fotovoltaicos, destacando Jinko Solar, Trina Solar y Canadian Solar. Tras analizar criterios como relación calidad-precio, disponibilidad, garantía, reputación (clasificación "Tier 1") y otros beneficios, se optó por Canadian Solar como la más adecuada para el proyecto.

Canadian Solar ofrece productos de alto desempeño a precios generalmente más accesibles que marcas premium, lo que facilita una inversión eficiente y de calidad, cuenta con una extensa red de distribución y soporte técnico, lo que asegura facilidad de adquisición e instalación, tiene garantías de 12 años para producto y 25 años de rendimiento y está diseñado para tolerar condiciones climáticas extremas (viento, nieve, granizo), garantizando fiabilidad a largo plazo.

4.7. Determinación de la Capacidad del Inversor

Se calculó que la potencia necesaria para el inversor era de 3,700 W, como se observa en la Ecuación 6.

$$Potencia\ del\ inversor = \frac{555\ W * 8}{1.20} = 3,700\ W$$

Se decidirá proponer un inversor central ya que este permite agregar más módulos fotovoltaicos en un futuro a diferencia de un microinversor, el cual solo permite conectar 4 módulos.

Para el proyecto se optó por un inversor central de la marca Growatt, elegido por su relación rendimiento-coste y por la flexibilidad de dimensionamiento que ofrecen sus equipos, el modelo fue el Growatt MIN 3600 TL-X₂, que tiene una máxima potencia fotovoltaica de 5,250 W, que le permite soportar hasta 10 módulos fotovoltaicos de 555 W, lo que garantiza márgenes para agregar módulos adicionales, se dejó capacidad para añadir 2 módulos más, sin reemplazar el inversor, siempre y cuando la ampliación respete las limitantes de tensión y corriente establecidas en la hoja de datos.

4.8. Dimensionamiento del Cableado y Elementos de Protección

Se tomó el valor del I_{sc} y V_{oc} de la ficha técnica del módulo fotovoltaico Canadian Solar HiKu6 Mono PERC 555 W para calcular las protecciones, los valores se muestran en la Ilustración 13.

ELECTRICAL DATA STC*							
CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS	
Nominal Max. Power (P _{max})	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W	
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V	
Opt. Operating Current (I _{mp})	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A	
Open Circuit Voltage (V _{oc})	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V	
Short Circuit Current (I _{sc})	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A	
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.6%	
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	25 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

Ilustración 13: Ficha técnica del módulo fotovoltaico.

De acuerdo a la NOM 001 SEDE 2012, artículo 690-8, se utilizó la Ecuación 7 para calcular el calibre del cable:

$$\text{Amperaje que tiene que soportar el cable} = 14.05 \text{ A} * 1.25 * 1.25 = 21.95 \text{ A}$$

Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Ilustración 14: Cuadro de amperaje que soportan los cables de cobre.

Basándose en la Ilustración 14, se optó por usar cable THW calibre 10 ya que soporta hasta 30 A y también cable fotovoltaico calibre 10.

Las protecciones en corriente directa se calcularon con las Ecuaciones 8 y 9.

$$\text{Tension} = 49.8 \text{ V} * 8 * 1.20 = 478.08 \text{ V}$$

$$\text{Corriente} = 14.05 \text{ A} * 1.25 = 17.56 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta que la protección tenía que soportar más de 17.5 A y 478.08 V, se propuso un interruptor termomagnético (ITM) de 2 polos de 20 A que soporta hasta 800 V, el cual protege al sistema contra sobrecargas y cortocircuitos en el arreglo fotovoltaico, se sugiere uno de la marca Suntime.

Para el supresor de picos, teniendo en cuenta el valor de la tensión, se propuso uno de 600 V 2 Polos, cuya función es limitar y desviar a tierra las sobretensiones transitorias originadas por descargas atmosféricas indirectas o perturbaciones eléctricas, evitando que dichos picos dañen al inversor y al cableado, se sugiere uno de la marca Connera.

Para seleccionar la pastilla en corriente alterna se utilizó la ficha técnica del inversor, como se muestra en la Ilustración 15.

Hoja de datos	MIN 2500TL-X2	MIN 3000TL-X2	MIN 3600TL-X2	MIN 4200TL-X2	MIN 4600TL-X2	MIN 5000TL-X2	MIN 6000TL-X2
Datos de entrada (CD)							
Máxima potencia FV recomendada	3750W	4500W	5250W	6300W	6900W	7500W	9000W
Máximo voltaje CD	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Voltaje de arranque	50V						
Voltaje nominal	360V						
Rango de voltaje de MPPT	40V-500V	40V-500V	40V-550V	40V-550V	40V-550V	40V-550V	40V-550V
Número de MPPTs	2						
Cadenas por MPPT	1						
Máxima corriente de entrada por MPPT	16A						
Corriente máx. de cortocircuito por MPPT	24A						
Datos de salida (CA)							
Potencia nominal de CA	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Potencia aparente máxima	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Voltaje nominal CA (Rango*)	240V (211-264V)						
Frecuencia de red CA (Rango*)	50/60Hz (45-55Hz/54-65Hz)						
Corriente máxima de salida	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Factor de potencia ajustable	0.8 de adelanto...0.8 de atraso						
Distorsión armónica total	<3%						
Tipo de conexión CA	Monofásico						

Ilustración 15: Ficha técnica del inversor.

La ficha técnica del inversor especifica que la corriente máxima de salida, es decir, en corriente alterna, será de 16 A, por lo tanto, la pastilla propuesta fue una de 2 Polos de 20 A, su función principal es proteger al inversor y a la instalación eléctrica de la vivienda frente a sobrecorrientes y cortocircuitos que pudieran presentarse durante la operación. Este dispositivo actúa de manera automática cuando la corriente supera el valor nominal para el cual fue diseñado, interrumpiendo el paso de la energía y evitando daños en los conductores y equipos conectados.

Además de su función protectora, el interruptor cumple con un papel operativo, ya que permite realizar maniobras de desconexión segura durante trabajos de mantenimiento o emergencias, el interruptor sugerido es de la marca Square D.

Para proteger el inversor y la instalación eléctrica contra sobretensiones transitorias, se seleccionó un supresor de picos, su función es desviar a tierra los picos de voltaje provocados por maniobras de la red o descargas atmosféricas indirectas, evitando que alcancen los equipos sensibles, se propuso el modelo LA302R de la marca Delta, este dispositivo está diseñado para sistemas monofásicos de 120–240 V, con

una tensión de operación continua admisible de hasta 300 V, y un tiempo de respuesta de 5 ns.

Para garantizar la seguridad de la estructura metálica de los módulos fotovoltaicos, se conectará a un conductor desde la propia estructura a la clema de puesta a tierra instalado, la clema es un bloque de terminales para conectar un cable de tierra (o conductor de protección) a un sistema eléctrico de manera segura y organizada.

En caso de una sobretensión significativa o una descarga eléctrica directa, la clema puede dañarse, actuando como un punto de protección que limita el riesgo de daños a la estructura y a los componentes cercanos.

Se propuso una clema a tierra Riel Din de 24-10 AWG, cuyo voltaje nominal es de 800 V y su corriente nominal es de 41 A, lo que lo hace apto para aplicaciones de media y baja tensión. Su calibre de conductor es de 24-10 AWG, lo que permite usar una amplia gama de cables.

Así, el uso de este asegura que la estructura permanezca eléctricamente uniforme y ofrece una medida de seguridad adicional, aunque no sustituye la conexión a tierra física, que es indispensable para la protección completa del sistema fotovoltaico.

4.9. Estimación del Costo Total del Sistema Fotovoltaico

Los componentes del sistema fotovoltaico fueron cotizados en abril de 2025 y puede variar dependiendo del tipo de cambio reportado por el Diario Oficial de la Federación el día que se realice la cotización.

Tabla 3: Cotización del sistema fotovoltaico

UNIDAD	CONCEPTO	CAPACIDAD	PRECIO
8	Módulos fotovoltaicos	555 W	18,000
1	Inversor central	3600 W	10,000
	Estructura		23,000
	Material para instalación		8,000
	Trámites ante CFE		1,300
TOTAL			60,000

4.10. Análisis del Periodo de Retorno de Inversión

Costos de la energía en el mercado eléctrico mayorista					Desglose del importe a pagar	
Concepto	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (MXN)	Concepto	Importe (MXN)
Suministro	80.22	0.00	0.00	80.22	Energía	4,788.79
Distribución	0.00	0.00	1,824.56	1,824.56	IVA 16%	766.21
Transmisión	0.00	0.00	270.99	270.99	Deposito	640.00
CENACE	0.00	0.00	9.74	9.74	Total	6,195.00
Energía	0.00	0.00	1,238.85	1,238.85		
Capacidad	0.00	0.00	772.97	772.97		
SCnMEM(1)	0.00	0.00	9.29	9.29		



Ilustración 16: Historial de pagos a CFE.

Se tuvo que calcular el gasto anual sin módulos fotovoltaicos a partir de la facturación de CFE, como se muestra en la Ilustración 16.

$$\text{Pago anual} = 3,152 + 1,560 + 3,468 + 672 + 2,495 + 6,195 = 17,542 \text{ pesos anuales}$$

Posteriormente se calculó el retorno de inversión con la Ecuación 10, teniendo en cuenta el aumento del 9% anual en la tarifa de CFE, la inversión inicial del sistema fotovoltaico, el pago anual a CFE sin el sistema fotovoltaico y el nuevo pago anual a CFE con el sistema fotovoltaico.

Teniendo en cuenta que este sistema se diseñó cubriendo el 100% de la demanda energética, se pudo asumir que solo se pagará la tarifa mínima por interconexión de 50-60 pesos bimestrales.

Para este cálculo se tomó el valor de 55 pesos bimestrales, lo que daría 330 pesos anuales.

$$n = \frac{\ln \left(1 + \frac{60,000 * 0.09}{17,542 - 330} \right)}{\ln (1 + 0.09)} = 3.16 \text{ años}$$

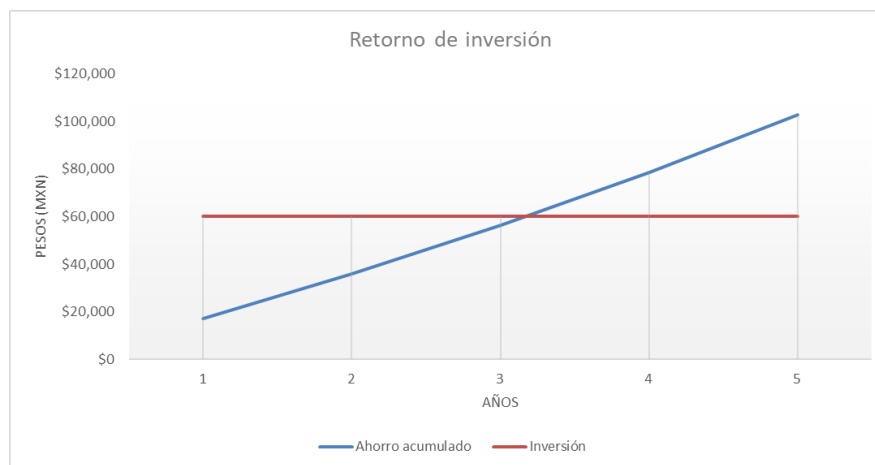


Ilustración 17: Retorno de inversión.

La gráfica muestra la comparación entre la inversión inicial de un sistema fotovoltaico y el ahorro acumulado generado a lo largo de cinco años.

La línea roja representa la inversión inicial fija de \$60,000 MXN, correspondiente al costo total del sistema instalado. Esta línea se mantiene constante a lo largo del tiempo, ya que la inversión se realiza una sola vez al inicio del proyecto.

Por otro lado, la línea azul indica el ahorro acumulado que el usuario obtiene año con año al reducir su consumo de energía de la red eléctrica gracias a la generación solar. Este ahorro aumenta progresivamente debido a que la tarifa de facturación eléctrica crece en promedio un 9% anual, lo que provoca que los ahorros sean mayores cada año.

El punto donde ambas líneas se cruzan, aproximadamente en el año 3.16, representa el retorno de inversión (ROI). En este momento, el ahorro acumulado iguala el monto de la inversión inicial, lo que significa que el sistema ha recuperado completamente su costo.

A partir de ese punto, el sistema comienza a generar ganancias netas para el usuario, ya que los ahorros continúan incrementándose mientras que no hay costos adicionales significativos de inversión. Esto demuestra que el proyecto es económicamente viable y rentable en un corto plazo, con un retorno de inversión en poco más de tres años y un crecimiento sostenido del ahorro a futuro.

CONCLUSIÓN

El análisis del consumo energético anual de la vivienda, obtenido a partir del historial de facturación de la CFE, permitió identificar un uso de 5,460 kWh al año, lo que representa un consumo elevado para la tarifa 1B. Este resultado confirmó el riesgo de que la vivienda fuera reclasificada en tarifa DAC, lo cual justifica la implementación de un sistema fotovoltaico como medida de ahorro y estabilidad en los costos de electricidad.

El estudio del potencial energético de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, demostró que la zona cuenta con una irradiación normal directa promedio de 5 HSP, adoptándose para fines de diseño un valor de 4.5 HSP. Esta disponibilidad de radiación solar confirma que la ubicación es adecuada para garantizar un óptimo aprovechamiento del sistema fotovoltaico proyectado.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico determinó un arreglo de 8 módulos fotovoltaicos de 555 W de la marca Canadian Solar, considerando un inversor Growatt de 3,600 W con capacidad máxima para 10 módulos de esa misma potencia, lo que deja un margen para 2 módulos adicionales en caso de ampliación. Asimismo, se calcularon los elementos de protección eléctrica como interruptores termomagnéticos, pastillas, supresores de picos y conexión a tierra a partir de las fichas técnicas del inversor y de los módulos fotovoltaicos, asegurando un diseño teórico adecuado, seguro y confiable.

El análisis económico reflejó que el costo estimado del sistema es de aproximadamente \$60,000 MXN, con un periodo de recuperación de la inversión de 3.16 años. Este resultado confirma la rentabilidad del proyecto, evidenciando que la instalación no solo cubriría el consumo energético de la vivienda, sino que también representaría un ahorro significativo en la facturación eléctrica.

Con lo planteado en el proyecto, se determinó que, si se llegara a implementar un sistema fotovoltaico compuesto por 8 módulos fotovoltaicos de 555 W en una residencia ubicada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, se proyectará que cubrirá el 100 % del consumo energético correspondiente a la tarifa 1B, cuyo gasto anual asciende aproximadamente a \$17,000 pesos. Con esta implementación, el usuario únicamente

pagaría el cargo mínimo establecido por la CFE de \$50 pesos bimestrales, lo cual representaría un ahorro económico considerable. Además, este diseño garantiza el suministro incluso en días nublados, asegurando la continuidad de la energía eléctrica en la vivienda y brindando mayor independencia energética a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations. (s. f.-b). *¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [2] *¿Cómo han evolucionado las energías renovables en los últimos 20 años?* (s. f.). OGISA. <https://ogisa.es/como-han-evolucionado-energias-renovables-en-ultimos-anos/>
- [3] Solarama. (2021, 30 noviembre). Top 5 estados con mayor radiación solar en México. Solarama Paneles solares México. <https://solarama.mx/blog/radiacion-solar-en-mexico/>
- [4] Solarama. (2023, 3 agosto). Historia del panel solar: Sus orígenes y su evolución. *Solarama Paneles solares México*. <https://solarama.mx/blog/historia-del-panel-solar/>
- [5] Buñuel, S. R. (2024, 21 octubre). *Historia del panel solar: ¿cómo nació y cuál ha sido su evolución?* Solfy. <https://solfy.net/placas-solares/historia-del-panel-solar-como-nacio-y-cual-ha-sido-su-evolucion/>
- [6] Valero, À., Valero, À., & Valero, À. (2024, 27 febrero). *¿Sabías el origen de la energía solar fotovoltaica?* Blog Engel Energy - Información Sobre Energía Solar Fotovoltaica. <https://engelenenergy.es/blog/origen-energia-solar/>
- [7] *La energía solar fotovoltaica bate Réconds en 2010*. (s. f.). Terra.org - Ecología Práctica. <https://www.terra.org/categorias/articulos/la-energia-solar-fotovoltaica-bate-records-en-2010>
- [8] *La energía fotovoltaica en el mundo*. (2023b, febrero 28). NORVENTO. <https://www.norvento.com/blog/la-energia-fotovoltaica-en-el-mundo/#:~:text=Actualmente%2C%20tomando%20datos%20de%202021,de%20940%20GW%5B1%5D>
- [9] Renovables, E. (s. f.). *Estos son los diez gráficos que muestran el boom que la energía solar está experimentando en todo el mundo*. Energías Renovables, el Periodismo de las Energías Limpias. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/estos-son-los-diez-graficos-que-muestran-20230614>

- [10] Energy, R. (2024, 19 junio). La capacidad solar global alcanza 1,6 TW en 2023 tras un año de crecimiento récord. *Review Energy*. <https://www.review-energy.com/solar/la-capacidad-solar-global-alcanza-1-6-tw-en-2023-tras-un-ano-de-crecimiento-record#:~:text=Las%20instalaciones%20solares%20a%20nivel,239%20GW%20instalados%20en%202022>
- [11] Alex. (s. f.). *Los cambios más relevantes en el mundo de la energía solar en 2024 - Nostresol*. Nostresol. <https://nostresol.com/los-cambios-mas-relevantes-en-el-mundo-de-la-energia-solar-en-2024/>
- [12] *Avances de la energía fotovoltaica en México*. (2024, 31 julio). Emmi. <https://emmi.mx/energia-fotovoltaica-en-mexico-puerto-penasco-como-caso-de-exito>
- [13] *México Energía solar fotovoltaica (PV) Tamaño del Mercado | Mordor Intelligence*. (s. f.). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/mexico-solar-photovoltaic-market>
- [14] *Parques fotovoltaicos más destacados en México*. (s. f.). Emmi. <https://emmi.mx/parques-fotovoltaicos-conoce-los-mas-destacados-en-mexico#la-importancia-de-adaptar-energia-fotovoltaica-en-las-empresas>
- [15] *Portal CFE*. (s. f.). <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=5987>
- [16] Usla, H. (2024, 12 junio). Tarifa eléctrica acumuló 16 meses por arriba de la inflación durante junio de 2024. *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/2024/06/11/tarifa-electrica-acumulo-16-meses-por-arriba-de-la-inflacion-durante-junio-de-2024/>
- [17] Cervantes, V. (2025, 15 enero). Incremento de tarifas eléctricas en 2025: Un reto y una oportunidad para la industria mexicana. *MexicoIndustry*. <https://mexicoindustry.com/noticia/titulo-incremento-de-tarifas-electricas-en-2025-un-reto-y-una-oportunidad-para-la-industria-mexicana>

- [18] Solar, N. (2024, 8 julio). *¿Por qué aumentó mi recibo de luz? Te explicamos el cambio de Tarifa 1 a Tarifa DAC*. <https://www.niko.mx/blog/incremento-cfe-recibo-de-luz-caro>
- [19] Del Rincón, P. (2025, 8 abril). CFE: Si ves esto en tu recibo de luz tendrás que pagar la tarifa más cara de miles de pesos. *Adn40*. <https://www.adn40.mx/mexico/2025-03-18/cfe-si-ves-esto-en-tu-recibo-de-luz-tendras-la-tarifa-mas-cara-de-miles-de-pesos>
- [20] Quevedo Irazábal, J. E. (2021) Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red para la fábrica de vinos de mortiño “El Último Inca” (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional.] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22445>
- [21] Ramírez García, I. A. (2022). *Diseño, simulación y comparación de dos sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, en diferentes regiones geográficas de México* (Tesis de licenciatura). Tecnológico de estudios Superiores de Chicoloapan. <http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/8010/1/Tesis%2C%20RAM%C3%8DREZ%20GARC%C3%8DA.pdf>
- [22] Gamaliel Hilario Venegas, P., & Hernández Rivera, G. de J. (2024). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para el área de lavandería en el Hotel Princess Mundo Imperial* (Tesis profesional). Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Acapulco. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/8600/2/Tesis%20profesional-%20Pedro%20Gamaliel-Getseman%C3%AD%20de%20Jes%C3%BA.pdf>
- [23] Rodríguez Pérez, C. (2024). *Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a red: Análisis tarifario* (Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- [24] United Nations. (s. f.). *Energías renovables: energías para un futuro más seguro | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- [25] *La importancia de las energías renovables | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL*. (s. f.). <https://www.acciona.com/es/energias-renovables>

- [26] Salvador, D. G. C. E. N. F. R. R. G. J. C. R. (s. f.). *El Sol, la estrella más cercana a la Tierra*. Ciencia UNAM. <https://ciencia.unam.mx/leer/1129/el-sol-la-estrella-mas-cercana-a-la-tierra>
- [27] Tröndle, M. (2021, 2 septiembre). *Radiación global - PV Glosario de TRITEC*. TRITEC. <https://www.tritec-energy.com/es/glosario/radiaci%C3%B3n-global/>
- [28] Portillo, A. L. (2022, 23 noviembre). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento*. CIEP. <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>
- [29] *Global Market Outlook for Solar Power 2025-2029 - SolarPower Europe*. (s. f.). <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2025-2029/detail>
- [30] Corporativa, I. (s. f.). *Funcionamiento energía solar fotovoltaica*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- [31] Solarama. (2022, 29 junio). ¿Qué es el efecto fotovoltaico y su importancia en los sistemas solares? *Solarama Paneles solares México*. <https://solarama.mx/blog/que-es-el-efecto-fotovoltaico/#queeselefectofotovoltaico>
- [32] Alonso, J. A. (2024, 19 septiembre). *Sistemas fotovoltaicos: que son, componentes, dimensiones, tipos e instalación*. SunFields | Expertos En Energía Fotovoltaica Para Ahorro Energético En España. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/sistema-fotovoltaico-funciona-aplicaciones/#Conectados-a-la-red>
- [33] SunFields Europe. (2025, 11 abril). *Instalación fotovoltaica aislada: qué es, esquema y cálculo* | *SunFields*. SunFields | Expertos En Energía Fotovoltaica Para Ahorro Energético En España. https://www.sfe-solar.com/instalaciones-fotovoltaicas/aislada/?srsltid=AfmBOoovorJ-ITJuMHuUqOtZVyRuPZBNbKrqASTINqGykCU6_80bggw0#Que-es-una-instalacion-fotovoltaica-aislada

- [34] *¿Qué es un sistema fotovoltaico híbrido?* | AutoSolar. (s. f.). <https://autosolar.pe/energia-solar/que-es-un-sistema-fotovoltaico-hibrido?srsId=AfmBOopJXUPyatqah79YVIVvIUyno1xDd2M3q-sC4MH2yLtmr7oIVg5y>
- [35] Admin. (2018, 14 marzo). *Cómo Funcionan los Paneles Solares Interconectados a la Red?* Dexen. <https://www.dexen.mx/paneles-solares/funcionan-los-paneles-solares-interconectados-la-red/>
- [36] Jingsun New Energy and Technology Co., Ltd. (26 de febrero de 2024). *¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los sistemas solares conectados a la red?* <https://es.jingsun-power.com/info/what-are-the-pros-and-cons-of-grid-tied-solar-92753960.html>
- [37] Solarama. (2023, 3 febrero). Importancia del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico. *Solarama Paneles solares México*. <https://solarama.mx/blog/dimensionamiento-de-un-sistema-fotovoltaico/>
- [38] Cceea. (s. f.). *La importancia de una buena estructura - CCEEA*. cceea.mx. <https://cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/la-importancia-de-una-buena-estructura>
- [39] Solarama. (2022, 29 junio). *¿Cuáles son los mejores materiales de una estructura fotovoltaica? Solarama Paneles solares México*. <https://solarama.mx/blog/materiales-de-una-estructura-fotovoltaica/#cualessonlosmejoresmaterialesdeunaestructurafotovoltaica>
- [40] *Diseño de sistema fotovoltaico*. (s. f.). Sunhero. <https://www.sunhero.com/blog/disenio-sistema-fotovoltaico/>
- [41] Cceea. (s. f.-a). *¿Cuáles son las Normas para instalaciones fotovoltaicas en México? - CCEEA*. cceea.mx. <https://cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/cuales-son-las-normas-para-instalaciones-fotovoltaicas-en-mexico>

[42] *¿Qué tipo de tarifas de energía eléctrica existen?* (s. f.). Guía Jurídica Por Afectaciones Derivadas del COVID-19.

<https://asesoria.juridicas.unam.mx/preguntas/pregunta/37-Que-tipo-de-tarifas-de-energia-electrica-existen>

[43] Buenrostro, M. (2022, 18 abril). *¿Qué es la Tarifa DAC?* KeeUI Solar.

<https://keeui.com/2021/10/30/que-es-la-tarifa-dac/>

[44] *Nuevo contrato.* (s. f.).

https://www.cfe.mx/hogar/nuevocontrato/pages/contratacion_interconexion_hogar.aspx

BIBLIOGRAFÍA DE ILUSTRACIONES

[1] *México Energía solar fotovoltaica (PV) Tamaño del Mercado* | Mordor Intelligence. (s. f.). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/mexico-solar-photovoltaic-market>

[2] Infobae. (2023, 28 enero). *¿Qué pasará cuando el Sol se muera?* Infobae. <https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2023/01/28/que-pasara-cuando-el-sol-se-muera/>

[3] *Componentes de la radiación solar sobre un plano inclinado.* (s. f.). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Componentes-de-la-radiacion-solar-sobre-un-plano-inclinado-Fuente-10_fig1_324589773

[4] Portillo, A. L. (2022, 23 noviembre). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento.* CIEP. <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

[5] FP Eficiencia energética y energía solar térmica. (2017, 6 diciembre). *Cómo funciona la energía solar fotovoltaica* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qlxEplHjyto>

[6] *Invierte en paneles solares y reduce tu gasto en el recibo de luz al mínimo.* (s. f.). Sonnen Works - Paneles Solares. <https://www.sonnenworks.com/almacenamiento-de-energ%C3%ADa>

[7] Admin. (2021, 3 agosto). *Paneles solares híbridos en Monterrey.* Solarwave Paneles Solares Monterrey. <https://www.solarwave.com.mx/paneles-solares-hibridos-en-monterrey/>

[8] Erco. (2023, 17 mayo). *Como funciona un sistema solar interconectado.* Erco Energy. <https://erco.energy/co/blog/como-funciona-un-sistema-solar-interconectado>

[9] Buenrostro, M. (s. f.). *¿Qué es la Tarifa DAC?* KeeUI Solar. <https://keeui.com/2021/10/30/que-es-la-tarifa-dac/>

[10] *Mi espacio.* (s. f.). <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/MiEspacio/login.aspx>

[11] Admin. (2025, 6 junio). *Canadian Solar - Solarama Proveedor de paneles solares.* Solarama. <https://solarama.mx/paneles-solares-mexico/canadian-solar/>

[12] Cristobal. (s. f.). *cristobal.* <https://electricistas.cl/tipos-de-conductores-electricos/>

[13] *Descargar | Descargar recursos útiles | Growatt.* (s. f.). <https://latam.growatt.com/support/download>

[14] *Mi espacio.* (s. f.). <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/MiEspacio/login.aspx>

BIBLIOGRAFÍA DE TABLAS

[1] Energy, R. (2024, 19 junio). La capacidad solar global alcanza 1,6 TW en 2023 tras un año de crecimiento récord. *Review Energy.* <https://www.review-energy.com/solar/la-capacidad-solar-global-alcanza-1-6-tw-en-2023-tras-un-ano-de-crecimiento-record#:~:text=Las%20instalaciones%20solares%20a%20nivel,239%20GW%20instalados%20en%202022>

[2] Portillo, A. L. (2022, 23 noviembre). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento.* CIEP. <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>