



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES

INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
INTERCONECTADO A RED: ANALISIS TARIFARIO.**

PRESENTA

CANDY RODRÍGUEZ PÉREZ

DIRECTOR

DR. JOEL PANTOJA ENRIQUEZ





Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Fecha: 28 de octubre 2024.

C. Candy Rodríguez Pérez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red: Análisis Tarifario.

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

Mtro. Óscar Martínez Aguirre

Dr. Joel Pantoja Enriquez

Firmas:

[Firma]
Oscar Martínez A.
[Firma]

Ccp. Expediente

DEDICATORIA.

Esta dedicatoria es especialmente a mi madre Ana Dinorah Pérez López, por ser la luz que siempre ha guiado mi camino. Gracias por tu amor incondicional, por cada palabra de aliento, y por tu apoyo constante en cada paso de este recorrido. Tu fuerza, sabiduría y fe en mí han sido fundamentales para llegar hasta aquí. Esta meta también es tuya, porque sin ti, nada de esto sería posible.

Con todo mi amor y gratitud, siempre.

A mi amado padre Rubén Rodríguez Montaña.

Te agradezco profundamente por las valiosas enseñanzas y los sólidos valores que me inculcaste desde pequeña, por formar una mujer de bien que han dejado una huella imborrable en mi vida. Cada consejo que me diste ha sido una guía en mi camino, y gracias a ti he aprendido a enfrentar los retos con valentía y determinación. Espero que te sientas orgulloso de cada paso que he dado. Tu legado vive en mí, y siempre llevaré tus lecciones en mi corazón.

A mis queridas abuelas.

Aunque ya no estén físicamente a mi lado, su amor y enseñanzas continúan guiándome cada día. Ustedes fueron una de las principales razones que me impulsaron a seguir adelante, y me inspiraron a alcanzar mis sueños. Este logro es un tributo a su memoria, y espero que estén orgullosas de mí, así como siempre quisieron. Les dedico este proyecto con el deseo de que, desde donde estén, sientan la satisfacción de haber contribuido a la persona que soy hoy. Gracias por su amor incondicional y por ser mi faro en la vida.

AGRADECIMIENTOS.

A mi asesor el Dr. Joel Pantoja Enríquez.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su dedicación, paciencia y por ser un ejemplo a seguir en el ámbito académico. Gracias por compartir conmigo su vasto conocimiento y experiencia, por resolver cada una de mis dudas con atención y claridad, y por guiarme a lo largo de este proceso. Su apoyo ha sido clave para la realización de este proyecto, y siempre estaré agradecida por las valiosas enseñanzas que me ha brindado.

A mi novio.

Por ser mi compañero incansable en este camino. Gracias por tu amor, tu paciencia, y por estar a mi lado en todo momento durante este proyecto. Tu apoyo fue fundamental, siempre resolviendo mis dudas, brindándome palabras de aliento, y acompañándome en cada desafío. Este logro es, en gran parte, resultado de todo lo que me has brindado, y no puedo expresar con palabras cuánto valoro cada gesto de amor que me ayudó a seguir adelante.

Al maestro y amigo Oscar Martínez Aguirre.

Quiero agradecerle por su apoyo incondicional, no solo como guía académico, sino también como amigo. Siempre estuvo ahí para resolver cualquier duda, confiando en mi capacidad de superar cada reto y llegar a la meta. Gracias por brindarme su amistad. Su cariño y aliento fueron una de las motivaciones para terminar este proyecto, y por eso estaré eternamente agradecida.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
OBJETIVOS	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
JUSTIFICACIÓN	15
ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	15
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	17
1.1 INTRODUCCIÓN	18
1.2 Evolución de las energías renovables	18
1.3 Impacto medioambiental.....	20
1.4 Tarifas domésticas.....	22
1.5 Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	28
1.5.1 Características de un sistema fotovoltaico conectado a red.....	29
1.5.2 Interconexión a la red eléctrica.	30
1.6 Beneficios de interconectarse a la red de CFE.	31
1.7 Trámite de permiso para la interconexión a red.....	32
1.8 Normativa aplicable para México.	33
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	36
2.1 INTRODUCCIÓN	37
2.2 FUENTE ENERGÉTICA.....	37
2.2.1 Energía solar.....	37

2.2.2 Radiación solar.....	37
2.2.3 Tipos de radiación solar.....	38
2.2.4 Medida de radiación.....	40
2.2.4.1 Irradiancia solar.....	40
2.2.4.2 Irradiación solar.....	41
2.2.4.3 Horas sol pico.....	41
2.3 Energía solar fotovoltaica.....	44
2.4 Efecto fotovoltaico.....	44
2.5 Sistemas fotovoltaicos.....	45
2.6 Celdas fotovoltaicas.....	50
2.7 Panel fotovoltaico.....	51
2.7.1 Tipos de paneles fotovoltaicos.....	52
2.7.2 Orientación de los paneles.....	57
2.7.3 Inclinação de los paneles.....	57
2.7.4 Tipos de inclinación de los paneles.....	58
2.7.5 Parámetros de un panel fotovoltaico.....	61
2.7.6 Curvas características de un panel.....	62
2.8 Efecto sombra.....	64
2.9 Inversor.....	65
2.10 Medidor bidireccional.....	69
2.11 Supresor de picos.....	69
2.12 Dispositivos de protección.....	70
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.....	73
3.1 INTRODUCCIÓN.....	74
3.2 CÁLCULOS PARA EL SFV.....	75
3.2.1 Calcular el consumo diario del usuario.....	75
3.2.4 Calcular las horas solar pico.....	75
3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	76
3.2.2 Cálculo de potencia.....	77
3.3.1 Selección del módulo fotovoltaico.....	78
3.4 Selección y dimensionamiento del inversor.....	83

3.3.2 Cantidad de paneles en serie y paralelo.....	89
3.3 DISTANCIA MINIMA ENTRE FILAS DE MODULOS	92
3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO Y PROTECCIONES.	92
3.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ANCLAJE	93
3.7 ESTRUCTURAS DE LOS PANELES.....	94
CAPÍTULO 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN	97
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	99
4.1.1 Ubicación de la instalación.....	99
4.1.2 Cálculo del recurso solar.....	99
4.1.3 Angulo de inclinación de los módulos solares.....	100
4.1.4 HSP.....	100
4.1.5 Cálculo de la demanda energética.....	101
4.1.6 Selección de módulos fotovoltaicos.....	104
4.1.7 Selección de inversor.....	105
4.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA.....	105
4.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	111
4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO	116
4.4.1 Caso tarifa 1B escalón básico.....	116
4.4.2 Caso tarifa 1B escalón intermedio.....	117
4.4.3 Caso tarifa 1B escalón excedente.....	119
4.4.4 Caso tarifa Doméstica Alto Consumo (DAC)	121
4.5 ANÁLISIS AMBIENTAL.....	128
CONCLUSIÓN.....	128
REFERENCIAS.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Clasificación de las Regiones Tarifarias.	23
Figura 2	Principales componentes de una instalación fotovoltaica conectada a red.	29
Figura 3	Energía Solar.	37
Figura 4	Tipos de radiación solar.	39
Figura 5	Irradiación Global.	39
Figura 6	Irradiancia Solar.	41
Figura 7	Hora Solar Pico.	43
Figura 8	Inclinación de la superficie.	43
Figura 9	Energía Solar Fotovoltaica.	44
Figura 10	Efecto Fotovoltaico.	45
Figura 11	Conjunto de un sistema fotovoltaico.	46
Figura 12	Elementos básicos de un sistema fotovoltaico conectado a la red.	49
Figura 13	Célula fotovoltaica en funcionamiento.	50
Figura 14	Conexión de células en serie.	51
Figura 15	Composición de una célula fotovoltaica.	52
Figura 16	Panel Monocristalino.	53
Figura 17	Panel Policristalino.	55
Figura 18	Panel Amorfo.	56
Figura 19	Inclinación de los paneles.	58
Figura 20	Orientación de una instalación solar.	59
Figura 21	Orientación Este-Oeste.	60
Figura 22	Efecto del viento sobre los marcos de los paneles.	60
Figura 23	Curva I-V.	63
Figura 24	Inversor.	66
Figura 25	Microinversores o inversores integrados.	66
Figura 26	Inversor monofásico para conexión a red monofásica.	67
Figura 27	Inversores monofásicos para conexión a red trifásica.	67
Figura 28	Inversor central trifásico.	68
Figura 29	Inversores trifásicos en paralelo.	69
Figura 30	Diodos de bloqueo y Diodos de bypass.	70
Figura 31	Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas.	71
Figura 32	Interruptores termomagnéticos.	71

Figura 33	Interruptor diferencial.....	72
Figura 34	Puesta a Tierra.	72
Figura 35	Irradiación global diaria en el estado de Chiapas 2024.	76
Figura 36	Panel solar JA Solar.	80
Figura 37	Panel solar REC 3S mono 72.....	81
Figura 38	Panel Solar TSC 410	82
Figura 39	Panel Solar SunPower Maxeon 6 AC 435	83
Figura 40	Inversor “GROWATT”.	85
Figura 41	Inversor Fronius Primo.	86
Figura 42	Inversor Fronius Symo.....	87
Figura 43	Inversor Huawei SUN2000.	88
Figura 44	Inversor Sungrow.	89
Figura 45	Paneles conectados en serie.	90
Figura 46	Paneles conectados en paralelo.....	91
Figura 47	Separación entre filas y filas y objetos.....	92
Figura 48	Estructuras fijas no ajustables.....	95
Figura 49	Estructuras fijas ajustables.....	95
Figura 50	Estructuras fijas.....	96
Figura 51	Preparación del sitio.....	106
Figura 52	Instalación de soportes.....	106
Figura 53	Fijación.	107
Figura 54	Conexión de los paneles.	107
Figura 55	Instalación de los paneles solares.	108
Figura 56	Inversor central.....	110
Figura 57	Conexión a la red eléctrica.....	110
Figura 58	Plataforma de monitoreo “GROWATT”.	112
Figura 59	Producción de energía diaria en kW/h del mes de agosto.	113
Figura 60	Producción de energía generada mensual en kW/h del 2024.	114
Figura 61	Retorno de inversión del escalón básico.....	117
Figura 62	Retorno de inversión del escalón intermedio	119
Figura 63	Retorno de inversión del escalón excedente.	121
Figura 64	Retorno de inversión de la tarifa DAC.	122
Figura 65	Retorno de inversión del caso de usuario.....	124

Figura 66	Periodo de recuperación de inversión para cada escalón con precio mínimo y máximo.	125
Figura 67	Impacto económico mostrado en la PLATAFORMA.	126
Figura 68	Recibo actual del usuario.	127
Figura 69	Contribución social del Sistema Fotovoltaico.	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de tarifas.	24
Tabla 2	Precio de Tarifa 1 en el año 2024.	25
Tabla 3	Precio de tarifa 1A en el 2024 en verano y fuera de verano.	25
Tabla 4	Precio de tarifa 1B en el 2024 en verano y fuera de verano.	25
Tabla 5	Precio de tarifa 1C en el 2024 en verano y fuera de verano.	26
Tabla 6	Precio de tarifa 1D en el 2024 en verano y fuera de verano	26
Tabla 7	Precio de tarifa 1E en el 2024 en verano y fuera de verano	27
Tabla 8	Precio de tarifa 1F en el 2024 en verano y fuera de verano.	27
Tabla 9	Costo fijo de las zonas del país.	28
Tabla 10	Beneficios de interconexión a la Red.	31
Tabla 11	Total de pérdidas en un sistema fotovoltaico.	77
Tabla 12	Diferentes tecnologías de paneles fotovoltaicos.	79
Tabla 13	Comparación de los tres escalones de consumo de la tarifa 1B.	98
Tabla 14	Comparación de los tres escalones de consumo con el IVA incluido tarifa 1B.	98
Tabla 15	Costo de la tarifa DAC.	99
Tabla 16	Tabla de consumo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17	Equivalencia de tamaño de cable.	109
Tabla 18	Valor promedio mensual.	115

RESUMEN

La tesis titulada "Diseño de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red: Análisis Tarifario" tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica en un entorno doméstico, prestando especial atención a los distintos escalones tarifarios en los que se encuentran los usuarios. A través de un análisis detallado de las tarifas eléctricas y el consumo energético, se busca determinar en qué casos resulta más conveniente la implementación de este tipo de tecnología, así como identificar el impacto que tendría en las facturas energéticas y en la sostenibilidad ambiental.

Este proyecto aborda aspectos técnicos del diseño, considerando factores como pérdidas en la eficiencia del sistema debido a la orientación de los paneles, condiciones climáticas y capacidad del inversor. Estos cálculos permiten optimizar el sistema para maximizar la producción de energía solar y su uso dentro del hogar, lo que a su vez minimiza la cantidad de energía que el usuario debe comprar a la red eléctrica.

Tras un análisis exhaustivo de las tarifas domésticas, que incluyen las tarifas básicas, intermedias, Excedente y DAC, se determinó que las tarifas Excedente y DAC son las más convenientes para beneficiarse de un sistema fotovoltaico., reduciendo sus costos energéticos a largo plazo mientras contribuyen al uso sostenible de los recursos energéticos y a la reducción de su huella de carbono. De esta manera, se reafirma el papel crucial de las energías renovables en la transición hacia un modelo energético más limpio y eficiente.

El diseño propuesto para el usuario, se ha logrado una notable reducción en los costos de electricidad, pasando de pagar \$10,844 bimestrales a únicamente \$50 por concepto de la renta de la línea en CFE. Con un periodo de retorno de inversión de solo 2 años.

ABSTRACT

The thesis entitled "Design of a Grid-Connected Photovoltaic System: Tariff Analysis" has as its main objective to evaluate the technical, economic and environmental viability of installing a grid-connected photovoltaic system in a domestic environment, paying special attention to the different tariff levels in which users are located. Through a detailed analysis of electricity rates and energy consumption, the aim is to determine in which cases it is more convenient to implement this type of technology, as well as to identify the impact it would have on energy bills and environmental sustainability.

This project addresses technical aspects of the design, considering factors such as losses in system efficiency due to panel orientation, weather conditions and inverter capacity. These calculations allow the system to be optimized to maximize solar energy production and use within the home, which in turn minimizes the amount of energy the user must buy from the grid.

After a thorough analysis of domestic rates, including basic, intermediate, surplus and DAC rates, it was determined that the surplus and DAC rates are the most convenient to benefit from a photovoltaic system, reducing their long-term energy costs while contributing to the sustainable use of energy resources and reducing their carbon footprint. In this way, the crucial role of renewable energies in the transition towards a cleaner and more efficient energy model is reaffirmed.

The proposed design for the user has achieved a notable reduction in electricity costs, going from paying \$10,844 bi-monthly to only \$50 for the line rental at CFE. With a return on investment period of only 2 years.

INTRODUCCIÓN

En el contexto global actual, las energías renovables se han posicionado como una respuesta crucial a la creciente demanda de energía y a la urgente necesidad de mitigar los efectos del cambio climático. Las energías renovables se derivan de recursos naturales que se regeneran de manera continua, como la luz solar, el viento, la lluvia, las mareas y la geotérmica. A diferencia de los combustibles fósiles, que son finitos y contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero, las energías renovables representan una alternativa limpia y sostenible que puede satisfacer las necesidades energéticas sin comprometer el bienestar del medio ambiente.

Dentro del amplio espectro de energías renovables, la energía solar fotovoltaica ha ganado un protagonismo notable debido a su versatilidad y capacidad de integración en diversos contextos, desde aplicaciones domésticas hasta instalaciones a gran escala. Los sistemas fotovoltaicos convierten la energía solar en electricidad mediante el uso de células solares, que son dispositivos semiconductores que aprovechan el efecto fotovoltaico. Esta tecnología ha experimentado avances significativos en términos de eficiencia y reducción de costos, lo que ha facilitado su adopción en todo el mundo.

En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red permiten a los hogares generar su propia electricidad y, al mismo tiempo, mantener una conexión con la red eléctrica convencional. Esta dualidad proporciona una serie de beneficios, incluyendo la reducción de las facturas de electricidad, la independencia energética y la posibilidad de contribuir al suministro energético de la comunidad mediante la inyección de excedentes de energía a la red. Sin embargo, la implementación efectiva de estos sistemas en el ámbito doméstico requiere un análisis detallado de los patrones de consumo energético y un diseño adecuado que maximice su rendimiento y eficiencia.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el contexto energético actual, los usuarios domésticos enfrentan desafíos crecientes debido al aumento en los costos de la electricidad y la estructura tarifaria escalonada que rige su facturación. Dependiendo del consumo bimestral de energía, los usuarios son clasificados en diferentes tarifas: Básica, Intermedia, Excedente y Doméstico de Alto Consumo (DAC), lo que implica variaciones significativas en el costo por kilovatio-hora (kWh). Aunque la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red ofrece una solución para reducir la dependencia de la energía de la red eléctrica, el periodo de recuperación de la inversión varía considerablemente en función de la tarifa en la que se encuentra el usuario.

Esta problemática surge cuando, a pesar de que los sistemas fotovoltaicos son una opción sostenible y atractiva para reducir el costo de la energía, la viabilidad económica de su implementación no es homogénea en todas las tarifas. A mayor consumo de energía, el ahorro derivado de la instalación de paneles solares es mayor, pero también implica una instalación más cara. De esta manera, el desafío radica en identificar para cada usuario en qué tarifa es más conveniente la instalación de un sistema fotovoltaico, considerando los costos de instalación, el ahorro proyectado y el tiempo de retorno de la inversión.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis tarifario residencial en Tuxtla Gutiérrez, así como diseñar, implementar y evaluar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para uso residencial tarifa DAC, que optimice la generación de energía solar, minimice los

costos de electricidad para el usuario y garantice una viabilidad económica a largo plazo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los diferentes escalones tarifario residencial 1B y DAC en Tuxtla Gutiérrez.
- Diseñar un sistema adecuado para un caso específico tarifa DAC.
- Instalar el sistema fotovoltaico.
- Evaluar la energía producida por el sistema fotovoltaico

JUSTIFICACIÓN

La creciente preocupación por el costo de la energía eléctrica y el impacto ambiental de las fuentes de energía convencionales ha impulsado la adopción de energías renovables, siendo la energía solar una de las opciones más accesibles y sostenibles para los usuarios domésticos. No obstante, la rentabilidad y conveniencia de instalar un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica depende en gran medida del esquema tarifario en el que se encuentre el usuario.

Este estudio se justifica por la necesidad de proporcionar una evaluación objetiva que permita identificar en qué escalones tarifarios la instalación de un sistema fotovoltaico ofrece un beneficio económico significativo. Aunque se reconoce que las tarifas Básica e Intermedia presentan menores costos por kWh, se ha identificado que, para los usuarios en los escalones tarifarios Excedente y DAC, los costos energéticos pueden volverse insostenibles, lo que hace imperativa la búsqueda de soluciones para mitigar el impacto económico del consumo eléctrico.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

El objetivo de esta tesis es identificar el impacto del consumo energético en los hogares e implementar un sistema fotovoltaico que se acople eficientemente a

dichos patrones de consumo. Para alcanzar este objetivo, se llevará a cabo un estudio exhaustivo que abarcará varios aspectos clave. Este trabajo se estructura en cuatro capítulos que analizan distintas facetas de los sistemas interconectados a red.

En el primer capítulo se abordará los antecedentes. Los antecedentes nos permiten tener un contexto de todo lo que hablaremos en la tesis, para ir desarrollándolo en los siguientes capítulos. Al conocer las investigaciones previas, podemos evitar repetir estudios que ya se han realizado, y aparte tener las investigaciones nos ayuda que sea relevante y necesaria. Este capítulo es un elemento esencial en la construcción de un proyecto sólido y riguroso.

En el capítulo dos se abordará los fundamentos teóricos, todo acerca sobre las fuentes energéticas, también se explorarán las tecnologías actuales disponibles para los sistemas fotovoltaicos, incluyendo los avances en módulos solares, inversores, y herramientas de monitorización y control.

A partir de este análisis en el capítulo tres, se procederá a implementar un sistema fotovoltaico que se acople a los patrones de consumo energético identificados. Este diseño considerará no solo la capacidad de generación de energía, sino también la integración eficiente con la red eléctrica y la optimización de la relación costo-beneficio para los usuarios domésticos. Se utilizarán modelos y simulaciones para prever el rendimiento del sistema en diferentes condiciones y para ajustar su diseño a fin de maximizar la eficiencia energética y económica.

Y en el capítulo cuatro hablará del resultado de esta investigación que proporcionará una guía detallada para la implementación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red en el ámbito doméstico, destacando las mejores prácticas y las estrategias más efectivas para aprovechar al máximo los beneficios de esta tecnología.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizará la evolución que han tenido las energías renovables a través de los años y el impacto actual que ha tenido la energía solar fotovoltaica, como se fue desarrollando, y que beneficios ha tenido en el sector energético.

También se hará mención de las tarifas eléctricas por regiones para ir contextualizando el tema que se abordará en los siguientes capítulos fundamentando lo antes mencionado.

Posteriormente se define el problema a abordar justificando la necesidad de implementar un sistema fotovoltaico, y finalmente establecer los objetivos generales y específicos del proyecto.

1.2 Evolución de las energías renovables

En un mundo donde la mayor parte de la producción de energía proviene de recursos no renovables, la gente ha tratado de encontrar formas eficientes y rentables de utilizar la energía renovable. Hasta ahora el aprovechamiento de la energía renovable y su impacto sobre el ambiente es muy positivo ya que la obtención de electricidad no recurre a ningún tipo de combustión y no genera emisiones para contaminar la atmósfera. [1]

La energía solar es una de las iniciativas más revolucionarias que ha visto la sociedad actual. Es una manera mucho más rentable, funcional y práctica de proporcionar energía a los diferentes lugares en las cuales se ha desarrollado. [2]

La energía fotovoltaica, una tecnología clave en la transición hacia fuentes de energía renovables, tiene una rica historia que se extiende a lo largo de más de un siglo. Sus antecedentes se encuentran en los descubrimientos y avances científicos que han permitido convertir la luz solar directamente en electricidad, un proceso fundamental para la actual tecnología de paneles solares.

Los primeros indicios del efecto fotovoltaico se remontan a 1839, cuando el físico francés Alexandre Becquerel observó el efecto fotovoltaico, que se produce cuando un material produce corriente eléctrica cuando se expone a la luz. [2]

En 1873, el ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith observó el efecto fotovoltaico en el selenio, y tres años más tarde, en 1876, William Grylls Adams y Richard Evans Day demostraron que el selenio podría generar electricidad al ser expuesto a la luz solar, sin necesidad de calor o partes móviles. Este descubrimiento fue crucial, ya que mostró el potencial del selenio como material fotovoltaico, aunque su eficiencia era extremadamente baja. [2]

A lo largo de las décadas de 1960 y 1970, la tecnología fotovoltaica continuó evolucionando, con mejoras en la eficiencia y reducciones en los costos de producción. La crisis del petróleo de 1973 resaltó la necesidad de fuentes de energía alternativas, lo que llevó a un aumento en la investigación y el desarrollo de la energía solar. En 1976, el gobierno de Estados Unidos estableció el programa Solar Photovoltaics para promover el uso de energía solar, lo que marcó un punto de inflexión en el desarrollo y la adopción de esta tecnología. [3].

México es uno de los países latinoamericanos en los que el uso de energía solar ha tenido mayor crecimiento. Diferentes compañías, empresas y hogares cuentan con este tipo de tecnología como sistema principal de abastecimiento eléctrico. Algunas compañías constructoras diseñan y desarrollan proyectos de vivienda con una base sustentable que cuentan con esta tecnología en su estructura. [4]

En el sector fotovoltaico, actualmente los sistemas conectados a red están convirtiéndose en una tecnología estándar para generar energía eléctrica en los países desarrollados. Comenzando como instalaciones de corriente continua descentralizadas y aisladas de la red hace algunos años, los módulos fotovoltaicos combinados con inversores constituyen en el día de hoy una de las tecnologías maduras de generación eléctrica en un entorno futuro de generación distribuida a gran escala.

El primer sistema fotovoltaico trifásico interconectado a la red eléctrica como propiedad privada fue puesta en marcha en Diciembre del 2005 en la ciudad de México para la empresa “THE GREEN CORNER”, el cual consta de 204 paneles de 150 W con una capacidad de generación de 30.6 kW de potencia pico y monitorizada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) [5]

En 2007 se publica la iniciativa de Interconexión en modelo de contrato para instalaciones fotovoltaicas de pequeña escala, ofreciendo una oportunidad para el sector residencial y empresarial de producir su propia energía con una capacidad de producción de 10 kW para residencias y 30 kW para pequeñas empresas. Es en este año que se aprueba el modelo de contrato de interconexión para fuentes de energía solar en pequeña escala “No. RES/176/2007” por la secretaria de energía. [6]

Para tener una mayor seguridad y confianza con las instalaciones solares se han llevado a cabo diversas investigaciones acerca de la compatibilidad electromagnética entre sistemas solares fotovoltaicos y redes eléctricas. En el artículo que lleva por título “Conexión de sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica: calidad de suministro” los autores introducen diferentes conceptos fundamentales los cuales deben ser evaluados entre el sistema fotovoltaico y la red eléctrica en el punto de conexión, dichos parámetros son: Variación de tensión, frecuencia, huecos de tensión e intervalos de sobretensión, flicker, desequilibrio, distorsión de armónicos, factor de potencia y energía reactiva con el objetivo de obtener parámetros de calidad del suministro eléctrico. [7]

1.3 Impacto medioambiental

Las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red tienen un impacto medioambiental que podemos considerar prácticamente nulo. Si analizamos diferentes factores, como son el ruido, emisiones gaseosas a la atmósfera, destrucción de flora y fauna,

residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento, veremos que su impacto está limitado a la fabricación de sus componentes.

Impacto debido al funcionamiento de la instalación

- Ruidos:

Módulos fotovoltaicos: La generación de energía de los módulos fotovoltaicos, es un proceso totalmente silencioso.

Inversor: trabaja a alta frecuencia no audible por el oído humano.

- Emisiones gaseosas a la atmósfera:

La forma de generar de un sistema fotovoltaico, no requiere ninguna combustión para proporcionar energía, solo de una fuente limpia como es el sol.

- Destrucción de flora y fauna:

Ninguno de los equipos de la instalación tiene efecto perjudicial sobre la flora o la fauna.

- Residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento:

Para funcionar los equipos de la instalación no necesitan verter nada al sistema de saneamiento, la refrigeración se realiza por convección natural.

IMPACTO DEBIDO A LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES

En todos los procesos de fabricación de módulos fotovoltaicos, componentes electrónicos para los inversores, estructuras, cables, etc. es donde las emisiones gaseosas a la atmósfera y vertidos al sistema de saneamiento, pueden tener mayor impacto sobre el medio.

Los residuos tóxicos y peligrosos están regulados por el Real Decreto 833/1988 de 20 de julio. En este documento se encuentran reglamentadas las actuaciones en materia de eliminación de este tipo de residuos, que se resume en un correcto

etiquetado y en su almacenamiento hasta la retirada por empresas gestoras de residuos.

Esto se traduce en costes asociados a los procesos de fabricación de manera que en el diseño de procesos hay que tener en cuenta los posibles residuos. Los principales residuos de esta clase son: disoluciones de metales, aceites, disolventes orgánicos, restos de los dopantes y los envases de las materias primas que han contenido estos productos.

Los ácidos y los álcalis empleados en los procesos de limpieza pertenecen a la clase de residuos que se eliminan a través del sistema integral de saneamiento. Estos están regulados por la Ley 10/1993 de 26 de octubre. Esta ley limita las concentraciones máximas de contaminantes que es posible verter, así como la temperatura y el pH de los mismos. Las desviaciones con respecto a los valores marcados por la ley se reflejan en el incremento de la tasa de depuración.

En cuanto a la energía consumida en el proceso de fabricación, se sabe que en un tiempo de entre 4 y 7 años los módulos devuelven la energía consumida en la fabricación, muy inferior a la vida prevista para estos, que es superior a los 25 años. Se trata por tanto de una instalación sostenible desde el punto de vista ecológico ya que aprovecha los recursos naturales con unos beneficios que superan ampliamente los costes medioambientales. [8]

1.4 Tarifas domésticas.

La tarifa doméstica de bajo consumo está diseñada para hogares que utilizan una cantidad moderada de electricidad. Es una opción ideal para familias pequeñas o individuos que hacen un uso responsable de la energía.

En las tarifas domésticas existen dos tipos. La primera es la tarifa 1, esta es la tarifa subsidiada por el gobierno para los hogares mexicanos, es una de las tarifas más

baratas que tiene CFE. Aunque no todas las tarifas 1 son iguales, a esta, dependiendo de la zona se le puede añadir una letra. A, B, C, D, E o F.

En México tenemos un clima variado, esto provoca que las necesidades eléctricas no sean las mismas para una familia que vive en el clima templado del centro a una que vive en el desierto del norte. Naturalmente en esos climas más calurosos la cantidad de kWh que se CFE subsidia es mayor.

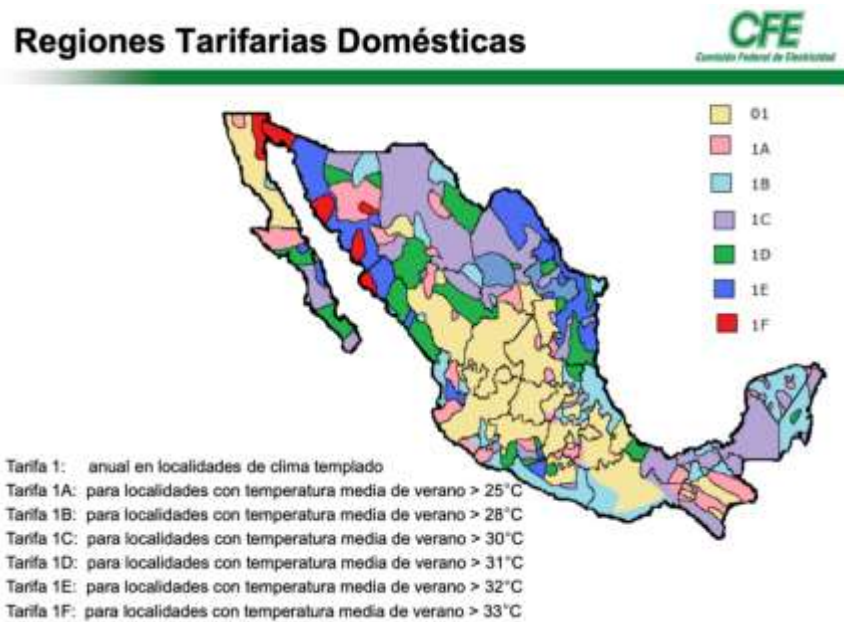


Figura 1 Mapa de Clasificación de las Regiones Tarifarias.

Límite superior promedio de consumo mensual antes de ser reclasificado a tarifa DAC, por localidad.

Tabla 1 Tipos de tarifas.

Tarifa	Temperatura media mínima en verano	Consumo límite para aplicación de Tarifa DAC
Tarifa 1	Menores a 25 °C	250 kWh al mes
Tarifa 1A	25 °C	300 kWh al mes
Tarifa 1B	28 °C	400 kWh al mes
Tarifa 1C	30 °C	850 kWh al mes
Tarifa 1D	31 °C	1,000 kWh al mes
Tarifa 1E	32 °C	2,000 kWh al mes
Tarifa 1F	33°C	2,500 kWh al mes

Los rangos y límites de consumo es un factor importante al momento de calcular el monto de facturación. Hay distintos rangos de consumo según la cantidad de electricidad que se utilice. El precio de kWh de CFE aumenta conforme se vaya escalando en estos rangos de consumo, siendo estos:

- Consumo básico.
- Consumo Intermedio bajo/alto (en función de la temporada del año).
- Consumo Excedente.

Algunos meses, la facturación puede variar, aunque el consumo sea el mismo, esto es porque los precios por kWh dependen de las temporadas del año, ya sea “verano” o “fuera de verano”. A continuación, se pondrá las tablas de precio por kW/h del año 2024. Con el objetivo de ver el contraste de los precios, dependiendo la temporada del año. Cabe recalcar que todos los datos fueron obtenidos de la página web oficial de Comisión de Electricidad.

Tabla 2 Precio de Tarifa 1 en el año 2024.

		Tarifa 1 (\$/kWh)												
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargas por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedia	76-140 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	141 KWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tabla 3 Precio de tarifa 1A en el 2024 en verano y fuera de verano.

		Tarifa 1A Verano (\$/kWh)												
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargas por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	100 kWh/mes	0.906	0.909	0.912	0.915	0.918	0.921	0.924	0.927	0.930	0.933	0.936	0.939	0.942
Intermedia	101-150 kWh/mes	1.047	1.051	1.055	1.059	1.063	1.067	1.071	1.075	1.079	1.083	1.087	1.091	1.095
Excedente	151 KWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

		Tarifa 1A Fuera de Verano (\$/kWh)												
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargas por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedia	76-150 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	151 KWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tabla 4 Precio de tarifa 1B en el 2024 en verano y fuera de verano.

		Tarifa 1B Verano (\$/kWh)												
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargas por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	125 kWh/mes	0.906	0.909	0.912	0.915	0.918	0.921	0.924	0.927	0.930	0.933	0.936	0.939	0.942
Intermedia	126-225 kWh/mes	1.047	1.051	1.055	1.059	1.063	1.067	1.071	1.075	1.079	1.083	1.087	1.091	1.095
Excedente	226 KWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

		Tarifa 1B Fuera de Verano (\$/kWh)												
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargas por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedia	76-175 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	176 KWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tabla 5 Precio de tarifa 1C en el 2024 en verano y fuera de verano.

Tarifa 1C Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	150 kWh/mes	0.906	0.908	0.912	0.915	0.918	0.921	0.924	0.927	0.930	0.933	0.936	0.939	0.942
Intermedio Bajo	151-300 kWh/mes	1.047	1.051	1.055	1.059	1.063	1.067	1.071	1.075	1.079	1.083	1.087	1.091	1.095
Intermedio Alto	301-450 kWh/mes	1.350	1.355	1.360	1.365	1.370	1.375	1.380	1.385	1.390	1.395	1.400	1.405	1.410
Excedente	451 kWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tarifa 1C Fuera de Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedio	76-175 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	176 kWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tabla 6 Precio de tarifa 1D en el 2024 en verano y fuera de verano

Tarifa 1D Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	175 kWh/mes	0.906	0.909	0.912	0.915	0.918	0.921	0.924	0.927	0.930	0.933	0.936	0.939	0.942
Intermedio Bajo	176-400 kWh/mes	1.047	1.051	1.055	1.059	1.063	1.067	1.071	1.075	1.079	1.083	1.087	1.091	1.095
Intermedio Alto	401-600 kWh/mes	1.350	1.355	1.360	1.365	1.370	1.375	1.380	1.385	1.390	1.395	1.400	1.405	1.410
Excedente	601 kWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tarifa 1D Fuera de Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedio	76-200 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	201 kWh +	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tabla 7 Precio de tarifa 1E en el 2024 en verano y fuera de verano

Tarifa 1E Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	Jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	300 kWh/mes	0.752	0.755	0.758	0.761	0.764	0.767	0.770	0.773	0.776	0.779	0.782	0.785	0.788
Intermedia Baja	301-750 kWh/mes	0.940	0.943	0.946	0.949	0.952	0.955	0.958	0.961	0.964	0.967	0.970	0.973	0.976
Intermedia Alta	751-900 kWh/mes	1.220	1.224	1.228	1.232	1.236	1.240	1.244	1.248	1.252	1.256	1.260	1.264	1.268
Excedente	901 kWh *	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tarifa 1E Fuera de Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	Jun-24	Jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedia	76-200 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	201 kWh *	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tabla 8 Precio de tarifa 1F en el 2024 en verano y fuera de verano.

Tarifa 1F Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	Jun-24	Jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	300 kWh/mes	0.752	0.755	0.758	0.761	0.764	0.767	0.770	0.773	0.776	0.779	0.782	0.785	0.788
Intermedia Baja	301-1200 kWh/mes	0.940	0.943	0.946	0.949	0.952	0.955	0.958	0.961	0.964	0.967	0.970	0.973	0.976
Intermedia Alta	1201-2500 kWh/mes	2.282	2.290	2.298	2.306	2.314	2.322	2.330	2.338	2.346	2.354	2.362	2.370	2.378
Excedente	2501 kWh *	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Tarifa 1F Fuera de Verano (\$/kWh)														
Tipo de Consumo	Rango de Aplicación	Cargos por Energía												
		dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	Jun-24	Jul-24	ago-24	sep-24	oct-24	nov-24	dic-24
Básico	75 kWh/mes	1.011	1.015	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043	1.047	1.051	1.055	1.059
Intermedia	76-200 kWh/mes	1.235	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259	1.263	1.267	1.271	1.275	1.280	1.285
Excedente	201 kWh *	3.607	3.620	3.633	3.646	3.659	3.672	3.685	3.698	3.711	3.724	3.737	3.750	3.763

Cuando un hogar consume más electricidad de la subsidiada, entra la tarifa DAC (Doméstica de Alto Consumo). Esta se aplica a los hogares que pasan el consumo establecido. Esta tarifa por lo general es entre 6 y 7 veces más cara que la 1, es incluso más cara que la tarifa PDBT (tarifa comercial)

Su costo fijo al mes es de \$127.18 y el cargo por kWh varía según la zona del país, en la zona norte y noreste el kWh cuesta \$5.711. Estos son los costos de la tarifa DAC en todo México. [9]

Tabla 9 Costo fijo de las zonas del país.

REGIÓN	Cargo Fijo	Cargo por energía consumida (\$/kWh)	
	\$/mes	Temporada de Verano	Temporada Fuera de Verano
Baja California	\$127.18	\$6.080	\$5.224
Baja California Sur	\$127.18	\$6.624	\$5.224
	Cargo Fijo	Cargo por energía consumida (\$/kWh)	
	\$/mes		
Central	\$127.18	\$6.255	
Noroeste	\$127.18	\$5.860	
Norte y Noreste	\$127.18	\$5.711	
Sur y Peninsular	\$127.18	\$5.799	

1.5 Sistema fotovoltaico conectado a la red.

Los sistemas fotovoltaicos interconectados en México inyectan energía en sincronía con la red de CFE funcionan como plantas generadoras de autoabastecimiento que suministra la red y complementan la energía que se demanda a la misma.

Este modo de operación es versátil, debido a que son sistemas que requieren poco mantenimiento, son confiables y de fácil uso, también ofrecen la posibilidad de consumir energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico a partir de la disponibilidad del recurso solar o de CFE, cuando no haya luz solar o ésta sea insuficiente, el usuario puede tomar la energía faltante de la red eléctrica como respaldo para sus necesidades energéticas. [10]

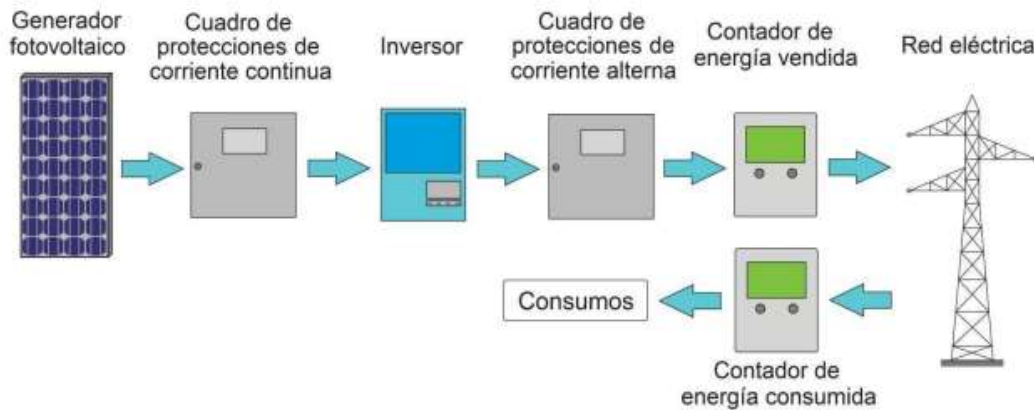


Figura 2 Principales componentes de una instalación fotovoltaica conectada a red.

Los principales componentes de una instalación fotovoltaica conectada a la red son

- Generador fotovoltaico.
- Inversores.
- Protecciones de corriente continua y de corriente alterna.
- Contadores.
- Cables que interconectan entre sí los dispositivos anteriores.

1.5.1 Características de un sistema fotovoltaico conectado a red

Conversión de Energía

- **Inversor de Red:** Convierte la corriente continua (CC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (CA), que es el tipo de electricidad utilizada por los electrodomésticos y que puede ser inyectada en la red eléctrica.

Interconexión con la Red Eléctrica

- **Conexión Bidireccional:** Permite al sistema fotovoltaico tanto consumir energía de la red cuando la generación solar es insuficiente como inyectar el exceso de energía generada a la red eléctrica. Esto se gestiona mediante un medidor bidireccional

Sin Almacenamiento de Energía

- **Dependencia de la Red:** A diferencia de los sistemas autónomos, los sistemas interconectados a la red no suelen incluir baterías para almacenamiento de energía, por lo que dependen de la red eléctrica para proporcionar energía durante la noche o cuando la producción solar es baja.

Eficiencia y Escalabilidad

- **Alta Eficiencia:** Dado que no hay pérdidas asociadas al almacenamiento de energía en baterías, los sistemas interconectados suelen ser más eficientes. Además, pueden ser fácilmente escalados al añadir más módulos fotovoltaicos según las necesidades energéticas.

1.5.2 Interconexión a la red eléctrica.

En México, La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la única empresa suministradora que puede comercializar energía eléctrica. Sin embargo, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) a través de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), permite la participación de particulares en la generación de electricidad mediante energía renovable en diversas modalidades. En México, La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la única empresa suministradora que puede comercializar energía eléctrica. Sin embargo, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) a través de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), permite La participación de Particulares en la generación de electricidad mediante energía Renovable en diversas modalidades. [11]

Un sistema de Conexión a Red es un sistema de generación de energía solar que está interconectado con la red eléctrica convencional. Este tipo de sistema utiliza paneles solares fotovoltaicos para convertir la radiación solar en electricidad en corriente continua (DC). De ahí un inversor convierte esta corriente continua en corriente alterna (AC), que es compatible con la red eléctrica.

La característica principal de un sistema de conexión a red fotovoltaica es que puede suministrar electricidad tanto a los consumos de su hogar como a la red eléctrica. Cuando la generación solar excede la demanda eléctrica del consumo de su hogar, el exceso de energía se puede inyectar a la red eléctrica. Por otro lado, si la generación solar es insuficiente para cubrir la demanda de los consumos de su vivienda, se puede suministrar electricidad de la red para compensar esta diferencia. [11]

1.6 Beneficios de interconectarse a la red de CFE.

Interconectar un sistema fotovoltaico a la red de la CFE ofrece una combinación de beneficios económicos, ambientales y técnicos. La posibilidad de reducir significativamente los costos de electricidad, junto con la contribución a la sostenibilidad ambiental, hace que esta opción sea atractiva para muchos hogares y negocios en México. Además, la simplicidad operativa y el apoyo de la red como respaldo proporcionan una solución práctica y eficiente para aprovechar la energía solar. [11]

Tabla 10 Beneficios de interconexión a la Red

PRODUCTIVOS	ECONÓMICOS	SOCIO-AMBIENTALES
✓ Generación de energía eléctrica.	✓ Ahorros a largo plazo	✓ Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
✓ Reducción de costos de operación	✓ Reducción de la factura de electricidad	✓ Disminución en el uso de combustible fósiles

1.7 Trámite de permiso para la interconexión a red.

Los contratos de interconexión son instrumentos regulatorios que consideran la relevancia, las características de las fuentes renovables de energía, así como la disponibilidad intermitente del recurso renovable e incluye conceptos únicamente aplicables a dichas fuentes como: energía excedente, energía faltante, energía complementaria, capacidad aportada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

- Requisitos para realizar un contrato de interconexión.
- Llenar el formato de la solicitud para interconexión debidamente contestado.
- Croquis de ubicación geográfica de la central eléctrica (ubicación del suministro eléctrico del solicitante).
- Diagrama unifilar de la central eléctrica y, en su caso, centros de carga que compartirán el mismo punto de interconexión/conexión.
- Ficha técnica de la tecnología de generación utilizada.
- Ficha técnica y certificado del inversor de corriente o sistema de adecuación de corriente (si es el caso).
- Si cuentas con servicio de energía eléctrica suministrado a través de CFE Suministrador de Servicios Básicos, es necesario presentar una copia del último aviso recibo del usuario final (al corriente en los pagos), cuyo centro de carga compartirá el mismo punto de interconexión/conexión que la central eléctrica. Caso contrario, deberás contar con el Registro Móvil de Usuario (RMU) asignado en tu contrato de suministro.

Existen 3 modelos de contratos de contra prestación de la energía entregada a las Redes Generales de Distribución:

- ✓ Medición Neta de Energía (Net Metering)

El cliente consume y genera energía en un mismo contrato de suministro. Esta energía se compensa entre sí y se emite una única facturación.

- ✓ Facturación Neta (Net Billing)

La energía consumida que CFE factura al cliente es independiente de la energía que el cliente genera y vende a CFE; es decir, no se compensa. Se debe asociar a un contrato de suministro vigente con CFE SSB.

- ✓ Venta total de energía

El generador exento vende a CFE toda la energía generada. No existe un contrato de suministro de energía eléctrica del generador con CFE SSB. [11]

1.8 Normativa aplicable para México.

En cualquier proyecto es realmente importante conocer las normas que se deben cumplir para poder ponerlo en funcionamiento, al igual que tener referencias para el cálculo. Las normas de referencia consultadas son:

- **NOM-001- INSTALACIONES ELÉCTRICAS.**

Dictamina los estándares que debemos 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 nos marca el artículo 705 “Fuentes de generación de energía eléctrica interconectadas.

- **CFE G0100-04 INTERCONEXIÓN LA RED ELÉCTRICA**

Es una norma directamente de la CFE la cual tiene los siguientes objetivos: 1.- Definir los requerimientos para el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica.

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 sistemas fotovoltaicos.

- **NOM-009 STPS (Secretaría de trabajo y previsión social)**

Equipos de seguridad para realizar las actividades, así como los lineamientos que se deben cumplir para que los trabajadores puedan realizar la instalación sin poner en riesgo su integridad física.

- **NOM-029 STPS**

Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad.

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

El cual 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.

- Disposiciones oficiales de la CRE (Comisión Reguladora de Energía)

Las disposiciones administrativas de carácter general, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida.

Sus objetivos son:

1. Definir el modelo de contrato que celebran el Distribuidor y el Solicitante para la interconexión de Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 ;W a las Redes Generales de Distribución.
2. Establecer los lineamientos generales en materia de Generación Distribuida.

3. Establecer las especificaciones técnicas generales requeridas en materia de Generación Distribuida.
4. Autorizar el modelo de Contrato que celebran el Suministro 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. [12]

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirá el estado del arte de los sistemas fotovoltaicos, para ello es necesario explicar brevemente el fundamento teórico relacionado a las instalaciones fotovoltaicas, debe incluir el principio básico de funcionamiento de los componentes, tecnologías actuales. El objetivo de este capítulo es facilitar al lector el entendimiento del procedimiento y cálculo de los sistemas fotovoltaicos.

2.2 FUENTE ENERGÉTICA

2.2.1 Energía solar

La energía solar es una forma de energía renovable que se obtiene a partir de la radiación electromagnética proveniente del Sol. Esta energía puede ser aprovechada de diversas maneras para generar electricidad, calor y otros usos prácticos. [13]



Figura 3 Energía Solar.

2.2.2 Radiación solar.

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, la cual se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Emitida por la

superficie solar, esta energía determina la dinámica de los procesos atmosféricos y climatológicos.

La radiación solar se mide en superficie horizontal mediante un sensor de radiación o piranómetro, que se sitúa orientado al sur y en un lugar libre de sombras. Los datos se recogen en unidades de potencia, vatios por metro cuadrado (W/m^2), en todas las estaciones meteorológicas y tiende a hacerse en intervalos de diez minutos o de 24 horas para establecer medias. En el caso de que se quiera pasar la radiación solar de unidades de potencia a unidades de energía, los datos en W/m^2 deben multiplicarse por la cantidad de segundos que comprenden diez minutos (600) o 24 horas (86.400) y el resultado será proporcionado en julios por metro cuadrado (J/m^2).

2.2.3 Tipos de radiación solar.

2.2.3.1 *RADIACIÓN SOLAR DIRECTA*

Este tipo de radiación es la que traspasa la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra sin haber sufrido dispersión alguna en su trayectoria.

2.2.3.2 *RADIACIÓN SOLAR DIFUSA*

Es la radiación que alcanza la superficie de la Tierra tras haber sufrido múltiples desviaciones en su trayectoria, por ejemplo, por los gases presentes en la atmósfera.

2.2.3.3 *RADIACIÓN SOLAR REFLEJADA*

Es aquella fracción de radiación solar que es reflejada por la propia superficie terrestre, en un fenómeno conocido como efecto albedo. [14]

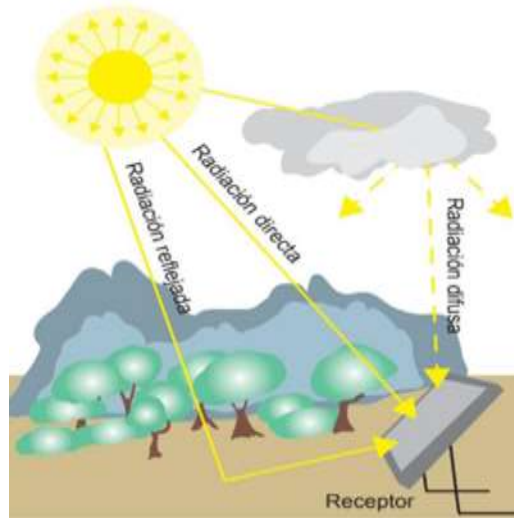


Figura 4 Tipos de radiación solar.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico.

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015), México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 Kwh/m² (la unidad de medición de radiación solar). [15]

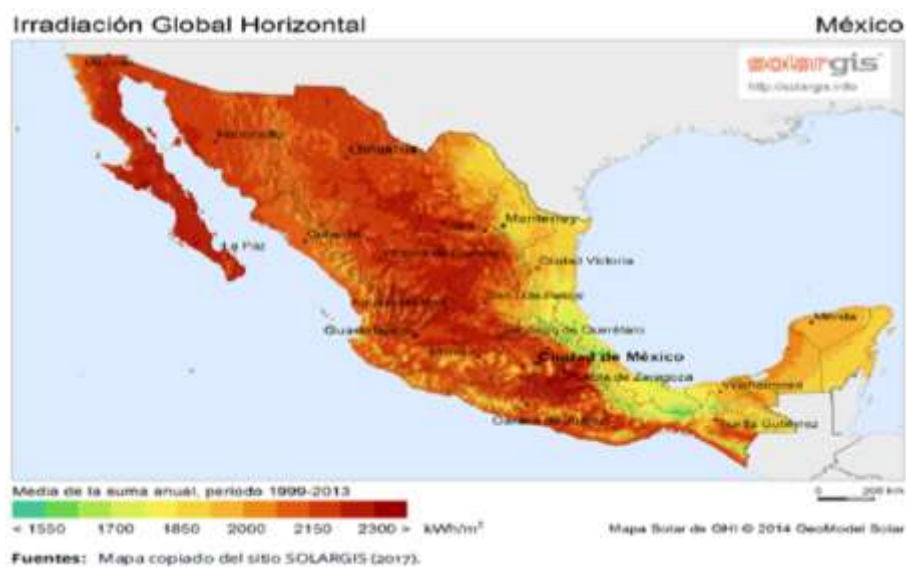


Figura 5 Irradiación Global.

La irradiancia y la irradiación son dos magnitudes muy importantes para los cálculos en instalaciones fotovoltaicas.

Es por eso que tenemos que tener claro lo que significan, cómo se utilizan para hacer los cálculos correctos y conseguir que nuestros paneles solares nos suministren la energía necesaria.

2.2.4 Medida de radiación.

Las medidas o magnitud para la radiación son las siguientes:

2.2.4.1 Irradiancia solar.

Es la magnitud de la medida de la potencia solar por unidad de superficie. Como es una potencia por unidad de superficie, se mide en vatios (w) o su múltiplo el Kilovatio (Kw) entre la unidad de superficie, donde se suele utilizar metros cuadrados.

- Unidad de Irradiancia: Kw/m
- La letra que representa la magnitud la irradiancia es la letra G.

Esta potencia que llega del Sol a la tierra también dependerá de la superficie que incida. Siendo los rayos procedentes del Sol los mismos en una determinada zona o en un momento determinado, No tiene o le llega la misma irradiancia a una superficie horizontal que vertical, o a una superficie orientada al sur que al norte. La irradiancia depende del Sol, pero también de la superficie sobre la que inciden los rayos solares (inclinación y orientación). [16]

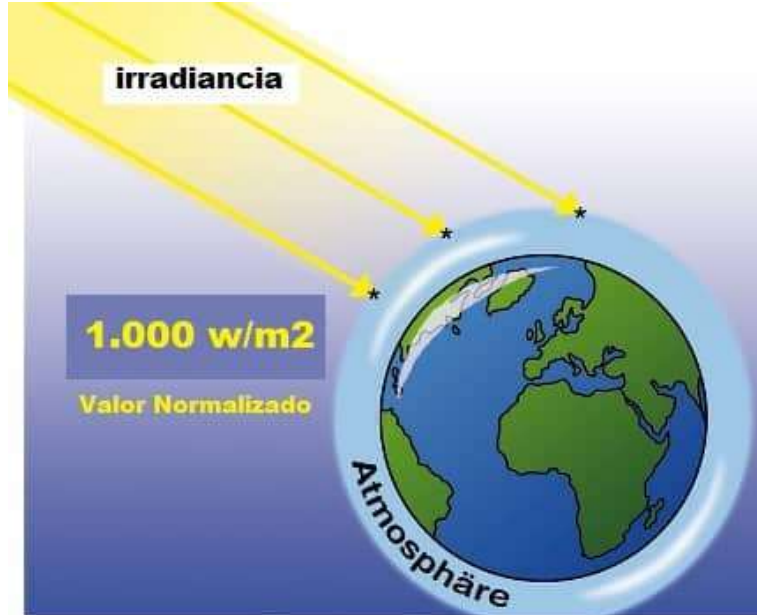


Figura 6 Irradiancia Solar.

2.2.4.2 Irradiación solar

La irradiación es una magnitud que nos mide la energía que llega del Sol por cada unidad de superficie.

La energía es la potencia por tiempo. Por lo que se medirá en vatios por hora o kilovatios por hora (Kw x h) partido por la unidad de superficie (metros cuadrados).

- Unidad de la Irradiación: Kw x h/m²

Pero también hay que considerar que cuando tenemos el dato de la irradiación, es muy importante saber el tiempo al que corresponde esa irradiación. [18]

2.2.4.3 Horas sol pico.

Conocidas como horas efectivas de Sol es el resultado de la irradiación en un intervalo de tiempo de un día, sirven para calcular cuanta energía va a generar un panel solar a lo largo de un día, y con este valor se puede interpolar para obtener

las HSP en semanas, meses, años o para estimar cuanta energía puede generar un panel durante su vida útil.

La HSP se calcula con la siguiente fórmula:

$$HSP = \frac{\text{Irradiacion}}{\frac{1000W}{m^2}}$$

La generación en un panel llega a su pico más alto al momento que incide sobre este una irradiancia de 1000 W/m², para una irradiancia diferente en una hora del día la potencia generada es directamente proporcional a la irradiancia instantánea; por tal motivo un panel solar nunca genera una potencia estable en el tiempo por el contrario es el aporte de las potencias instantáneas.

El área bajo la curva en la figura siguiente muestra la variabilidad de la irradiancia durante un día, obteniendo bajos niveles de irradiancia durante las horas de la mañana y por el atardecer, por el contrario, al medio día este valor puede llegar a sobrepasar el límite considerado.

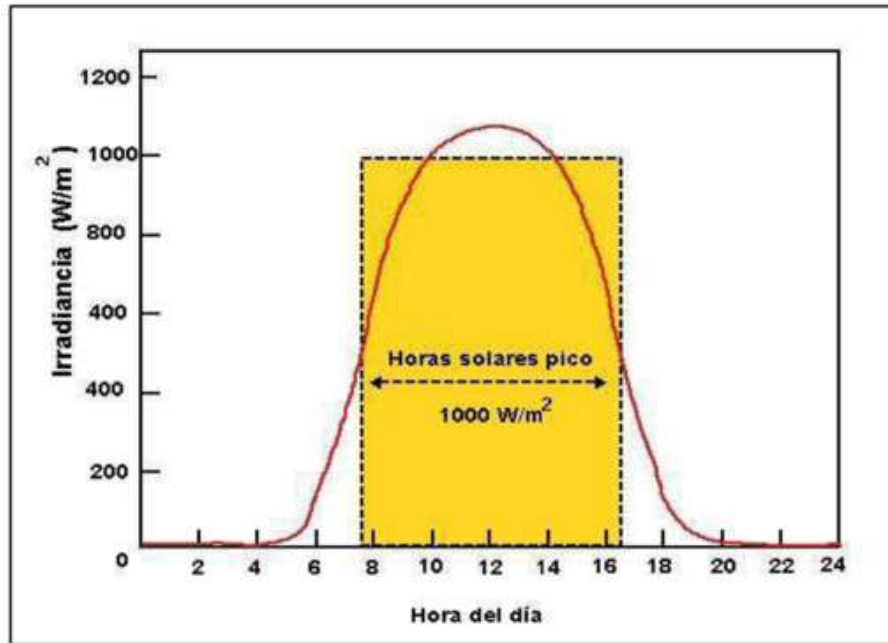


Figura 7 Hora Solar Pico

La hora de sol pico (HSP) es un parámetro que depende de las siguientes variables:

- LOCALIZACIÓN: Dependiendo la zona, es el mayor HSP.
- INCLINACIÓN: cuanto mayor sea la perpendicularidad de la superficie que estamos midiendo con el sol, mayor será la radiación. [17]

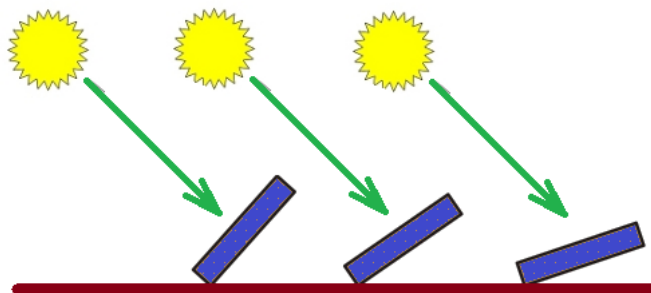


Figura 8 Inclinación de la superficie.

2.3 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas. [18]



Figura 9 Energía Solar Fotovoltaica.

2.4 Efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico consiste en la producción de corriente eléctrica a raíz del contacto de dos piezas de distinto material que se encuentran expuestas a una radiación electromagnética. El efecto fotovoltaico se produce en los paneles solares ya que estos cuentan con células fotovoltaicas gracias a las cuales es posible generar corriente eléctrica.

Este efecto se genera gracias al silicio del cual se componen las células fotovoltaicas. Este material semiconductor recibe la radiación solar que es absorbida por cada célula, provocando el salto de electrones de una capa a otra y generando la corriente eléctrica. [19]

EFEECTO FOTOVOLTAICO

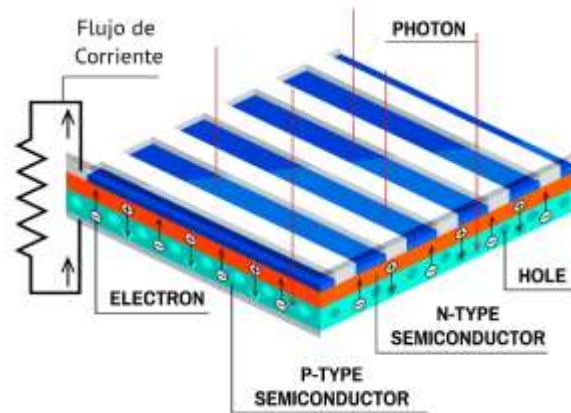


Figura 10 Efecto Fotovoltaico.

2.5 Sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que trabajan en conjunto para la captación de energía solar y luego ser transformada en energía eléctrica. Los sistemas solares se caracterizan por su simplicidad, facilidad de instalación, modularidad, ausencia de ruido durante su funcionamiento, larga duración, elevada fiabilidad y requiere poco mantenimiento

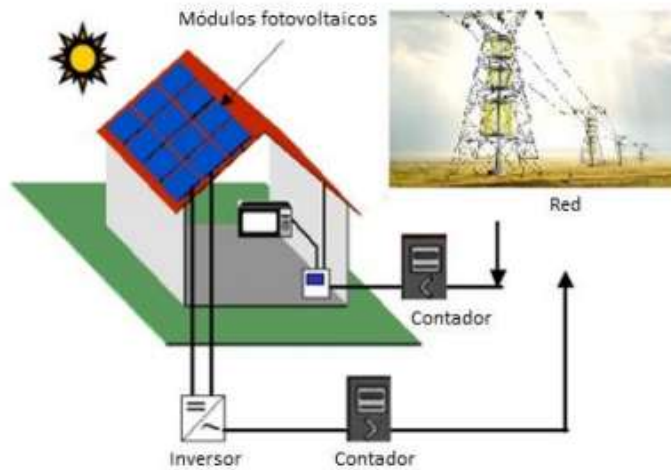


Figura 11 Conjunto de un sistema fotovoltaico.

Por otro lado, la tecnología fotovoltaica tiene el valor añadido de generar puestos de trabajo y emplear recursos autónomos, disminuyendo la dependencia energética del exterior. [20]

Para cada aplicación, el sistema fotovoltaico tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos

- Carga eléctrica.
- Potencia pico.
- Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.
- Características arquitectónicas específicas del edificio.
- Características eléctricas específicas de la carga.
- Posibilidad de conexión a la red eléctrica.

Existen tres tipos diferentes, los que están conectados a la red, los sistemas autónomos o aislados y los sistemas híbridos.

- Sistemas conectados a red: También conocidos como “sistemas on grid”. Como su nombre indica, estos sistemas están conectados a la red pública de corriente alterna.

- Sistemas aislados: También son conocidos como “sistemas off grid”. Son sistemas que no se conectan a la red pública y que pueden generar por sí solos la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento.
- Sistemas híbridos: Son aquellos que combinan varias fuentes de energía, que pueden ser desde generadores a diésel hasta configuraciones eólicas o geotérmicas, e incluso la misma red pública.

Las características principales de cada una de ellas.

1. Sistemas conectados a red

La característica principal de este sistema es su capacidad para conectarse a la red pública de energía eléctrica, pudiendo incluso entregar energía a dicha red, si así se requiere.

Funciona de la siguiente manera:

La energía solar recibida por los paneles solares fotovoltaicos es convertida en energía eléctrica continua (CC). Esta energía pasa por el convertidor, que se encarga de transformar esta corriente continua (CC) en corriente alterna (CA).

Esta conversión a corriente alterna debe hacerse a la misma frecuencia de la red pública para poder conectarse a ella. El convertidor garantiza la calidad del voltaje generado para que sea recibida por la red pública.

Estos sistemas, por lo general, no tienen baterías, así que su configuración es la más barata. Son los más utilizados en zonas urbanas, donde hay acceso a la red de energía eléctrica.

2. Sistemas aislados

Los sistemas off grid son autónomos y no están conectados a red alguna u otra fuente de energía.

Estos sistemas funcionan de la misma manera que los on grid, con paneles fotovoltaicos recibiendo energía solar, convirtiéndola en corriente continua y pasándola a un conversor que la transforma en energía alterna.

Pero tienen adicionalmente un banco de baterías en la que pueden “guardar” energía para su consumo posterior, ubicado antes del convertidor. Así, garantizan energía para la casa en días soleados, días nublados e incluso de noche.

Esta configuración es mucho más costosa que la on grid, sobre todo por el costo de las baterías. Se aprovecha principalmente en áreas remotas donde el acceso a la red de energía eléctrica es escaso o inexistente.

3. Sistemas híbridos

El sistema híbrido se integra eficientemente con otras fuentes de energía, que puede ser la misma red eléctrica, un generador diésel, un sistema geotérmico, etcétera.

Su principal diferencia con el sistema on grid es que el convertidor del sistema también cumple funciones de cargador para las baterías, aprovechando la energía excedente de los otros sistemas para carga.

Esto se da porque es capaz de convertir de CC a CA, como el convertidor del sistema on grid, así como de CA a CC para poder realizar las cargas de las baterías. Estos sistemas también son capaces de ofrecer energía a la red eléctrica pública, si están conectados. [21]

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se dividen a su vez en dos tipos:

- La central fotovoltaica: Toda la energía producida por el sistema se vierte en la red eléctrica nacional para su venta.
- Generador con autoconsumo: Parte de la electricidad generada es consumida por el propio productor y el resto se vierte a la red. Al mismo

tiempo, el productor toma de la red la energía necesaria para cubrir su demanda cuando la planta fotovoltaica no le suministre lo suficiente.

Los elementos básicos que forman un sistema fotovoltaico conectado a la red son los siguientes:

1. El generador fotovoltaico: Son los paneles o módulos solares que generan el efecto fotovoltaico antes mencionado.
2. Inversor CC a CA: Es el componente que convierte la energía generada en corriente continua (CC) de los paneles solares a corriente alterna (CA).
3. Un transformador elevador (Solo en casos cuando la demanda eléctrica es en media tensión): Para poder inyectar la energía proveniente de los módulos al sistema de transmisión.
4. Un medidor bidireccional: Para poder medir la energía inyectada no utilizada por el consumidor a la red eléctrica nacional y el consumo que se tiene cuando el sistema no produce lo suficiente para poder abastecer las necesidades del consumidor o el consumo cuando no existe radiación solar.

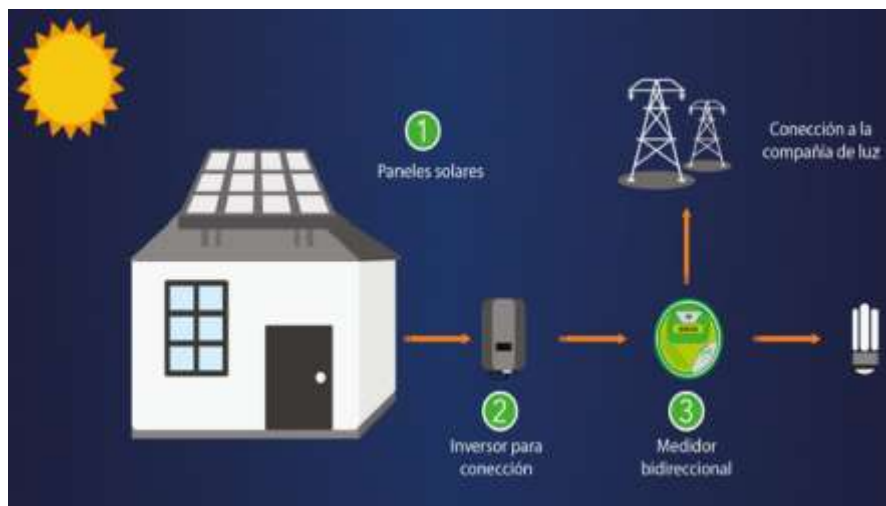


Figura 12 Elementos básicos de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

2.6 Celdas fotovoltaicas

El componente principal de los paneles fotovoltaicos es la célula, su funcionamiento es el que hace posible la obtención de electricidad a partir de luz solar.

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente. [22]

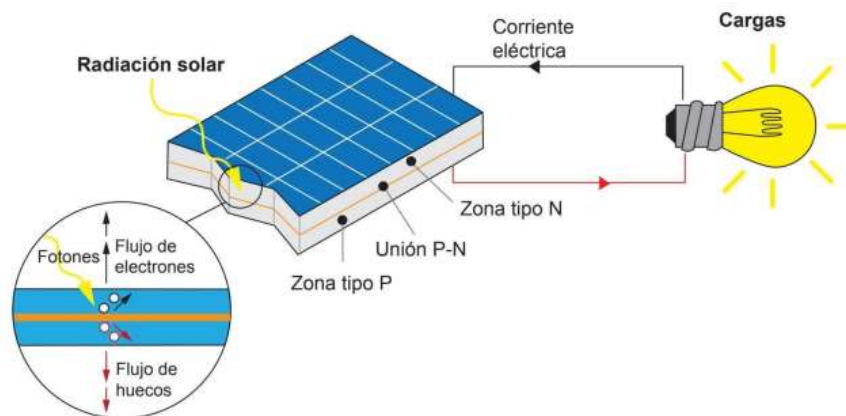


Figura 13 Célula fotovoltaica en funcionamiento.

En los últimos años se ha incrementado el número de células de las que se compone un módulo, pudiendo encontrar en la actualidad módulos de hasta 670 W de potencia. Las células se pueden conectar todas en serie, o bien conectarse algunas filas de ellas en paralelo.

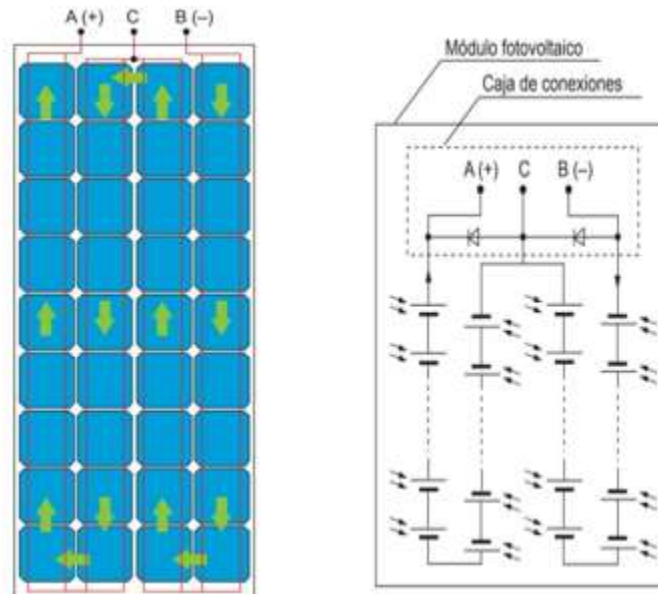


Figura 14 Conexión de células en serie.

La conexión en serie de las 36 células de un módulo. Los puntos A y B corresponden a los terminales positivo y negativo, respectivamente, que se incluyen en la caja de conexiones. En esta caja también se encuentra el punto C, que es para la conexión de los diodos de bypass o diodos de paso.

2.7 Panel fotovoltaico.

Es el dispositivo que capta la energía solar para iniciar el proceso de transformación en energía sostenible. El material semiconductor del que está recubierto, que suele ser el silicio, un elemento básico para cada una de las células solares, es sensible a la luz y genera electricidad al recibir la radiación solar gracias al fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico. [23]

La composición de un módulo fotovoltaico está conformada por los siguientes elementos.

- Cubierta Exterior: Esta cubierta tiene la responsabilidad de resguardar a cada uno de los elementos internos de las inclemencias meteorológicas y autorizar la entrada de la radiación solar para la generación.

- **Capas Encapsulantes:** Compuestas principalmente de silicona u otro material que permita la transmisión de radiación solar, esta capa amortigua los posibles impactos producidos por objetos extraños o las vibraciones producidas por tormentas y adhiere las cubiertas de los semiconductores.
- **Protección Posterior:** Como su nombre lo indica protegen al panel en su parte posterior de las inclemencias meteorológicas, principalmente de la humedad que se pueda presentar, los materiales más utilizados para esta parte suelen ser los acrílicos y siliconas.
- **Marco de Soporte:** Comúnmente de acero inoxidable y como su nombre ya lo menciona dan soporte a los módulos y forman una unión mecánica entre ellos.
- **Contactos Eléctricos:** Son los terminales del panel, donde se envía la energía hacia los inversores o reguladores dependiendo de su conexión. [24]

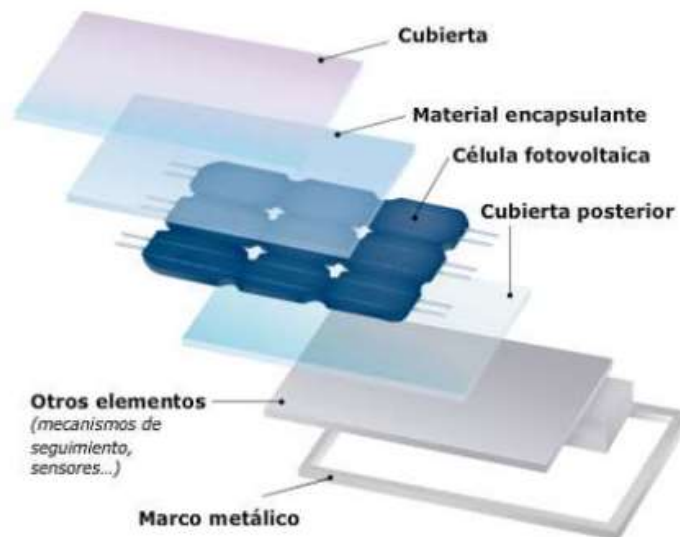


Figura 15 Composición de una célula fotovoltaica.

2.7.1 Tipos de paneles fotovoltaicos

1. Paneles monocristalinos

Este tipo de panel está conformado por un monocristal de silicio, el cual consiste en la fusión del semiconductor de silicio con una mínima parte de fósforo o boro en un crisol a 1425 °C. Es decir, se encuentran constituidos en unidades provenientes de una barra de silicio íntegramente materializado en un solo pedazo.

Las diferentes pruebas realizadas en el laboratorio demuestran un rendimiento superior del 24,7% para dicho tipo de paneles, y para los modelos comerciales del 16%.



Figura 16 Panel Monocristalino.

- Ventajas de los paneles monocristalinos.

Los paneles monocristalinos poseen unas de las tasas de mayor rendimiento debido a que están elaboradas con silicio altamente puro. Su vida útil es mucho más prolongada, haciendo que la mayoría de fabricantes de paneles monocristalinos ofrezcan garantías incluso hasta 25 años.

Adicionalmente tienen un mejor funcionamiento en comparación con los paneles policristalinos de propiedades semejantes bajo escenarios de poca luz. No obstante, el rendimiento tiende a reducirse en todos los paneles debido a las altas

temperaturas, esto sucede en menor proporción en los paneles policristalinos que en aquellos que son monocristalinos.

- Desventaja de los paneles monocristalinos

Los paneles monocristalinos tienden a ser más caros que otros tipos de paneles solares, como los policristalinos o de capa fina, debido al proceso de fabricación más complejo que implica la creación de cristales de silicio de alta pureza.

Los paneles monocristalinos son muy eficientes bajo luz directa, su rendimiento puede disminuir en condiciones de baja luz o en áreas con muchas sombras parciales, en comparación con otros tipos de paneles como los de capa fina.

2. Paneles Policristalinos

Inicialmente los paneles fotovoltaicos policristalinos de silicio fueron presentándose en el mercado a mediados de 1981, dichos paneles están basados en segmentos de una barra de silicio la cual se encuentra constituida desorganizadamente en forma de diminutos cristales. Una gran diferencia con los paneles monocristalinos, es que el silicio que está en forma bruta es derretido y esparcido en un molde cuadrado. Posteriormente se lo deja enfriar para así dividirlo en láminas perfectamente cuadradas.

De manera visual se los puede reconocer muy rápidamente debido a que presentan un aspecto granulado dentro de su superficie. El rendimiento que se puede lograr con estos paneles es inferior en contraste con los monocristalinos, puesto que en el laboratorio se obtiene un rendimiento del 19.8% y para aquellos módulos es del 14%, influyendo así en la reducción de su precio.



Figura 17 Panel Policristalino.

- Ventajas de los paneles policristalinos

El método de producción de los paneles fotovoltaicos policristalinos es mucho más sencillo, logrando que su costo económico sea menor. Además, la pérdida de silicio es más baja comparada con la utilizada en el proceso que se requiere para la elaboración del monocristalino

- Desventaja de los paneles policristalinos

Los paneles policristalinos tienen una eficiencia ligeramente menor en comparación con los paneles monocristalinos. Esto significa que requieren más espacio para generar la misma cantidad de electricidad, lo que puede ser una desventaja en situaciones donde el espacio disponible para la instalación es limitado

3. Paneles Amorfo

Los paneles solares amorfos es una forma no cristalina del silicio. A diferencia del silicio cristalino utilizado en paneles monocristalinos y policristalinos, donde los átomos de silicio están organizados en una estructura repetitiva y ordenada, el silicio amorfo tiene una estructura atómica desordenada.

Generalmente tienen un rendimiento de laboratorio cercano al 13%, y su rendimiento comercial oscila entre 7 y el 9%



Figura 18 Panel Amorfo.

- Ventajas de los paneles amorfo.

Los paneles amorfos son mucho más delgados que los paneles de silicio cristalino, con un espesor típico de solo unos pocos micrómetros (micras). Esto los hace más ligeros y, en algunos casos, flexibles, lo que les permite adaptarse a superficies curvas o móviles.

Debido a su menor consumo de material y a un proceso de fabricación más simple, los paneles amorfos suelen ser más baratos que los paneles de silicio cristalino, tanto en términos de costos de producción como de precio de mercado.

- Desventaja de los paneles amorfo.

Los paneles de silicio amorfo suelen tener una eficiencia más baja en comparación con los paneles de silicio cristalino, generalmente entre 7 y 9%. Esto significa que necesitan más superficie para generar la misma cantidad de energía que los paneles cristalinos.

Los módulos más utilizados actualmente en instalaciones fotovoltaicas convencionales son los de silicio monocristalino o policristalino, debido a su buena relación entre el rendimiento y el coste de fabricación, y se prevé que seguirán siendo los más empleados a corto y medio plazo. [25]

2.7.2 Orientación de los paneles.

La orientación óptima de los paneles solares es crucial para maximizar la captación de energía solar y, en consecuencia, la generación de electricidad. En México, debido a su ubicación geográfica en el hemisferio norte y su proximidad al ecuador, la orientación e inclinación de los paneles solares debe considerarse cuidadosamente para aprovechar al máximo la irradiancia solar.[9]

La orientación idónea para dirigir los paneles solares es hacia el sur (ángulo azimutal de 180°). Si orientamos los módulos hacia esta dirección, la instalación de módulos fotovoltaicos recibirá la máxima irradiación solar posible durante el día y, por tanto, el rendimiento del sistema será óptimo. Asimismo, es importante verificar que no haya sombras sobre nuestro sistema fotovoltaico

Al orientar los paneles hacia el sur, la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie y, por tanto, se obtiene la máxima eficacia. Sin embargo, en ocasiones será imposible ubicarlos de este modo, por lo que se debe buscar la orientación que más se aproxime para que las pérdidas del sistema de autoconsumo solar sean mínimas [26]

2.7.3 Inclinación de los paneles.

Los módulos y los captadores reciben una radiación solar que depende del ángulo que formen con una superficie horizontal. Se conseguirá una captación máxima cuando este ángulo de inclinación sea tal que la posición de estos elementos sea perpendicular a la radiación incidente.

La inclinación de los módulos y de los captadores tiene mucho que ver con la latitud del lugar en el que se instalan. La latitud mide el ángulo que existe entre un determinado punto del planeta y el ecuador, medido sobre el meridiano que pasa por dicho punto.

En México se estableció que la inclinación idónea para un módulo FV es en un consumo primordial en invierno: el ángulo de inclinación debe ser igual a la latitud mas 15 grados mientras que en el consumo primordial en verano: el ángulo de inclinación debe ser igual a la latitud menos 15 grados [28]

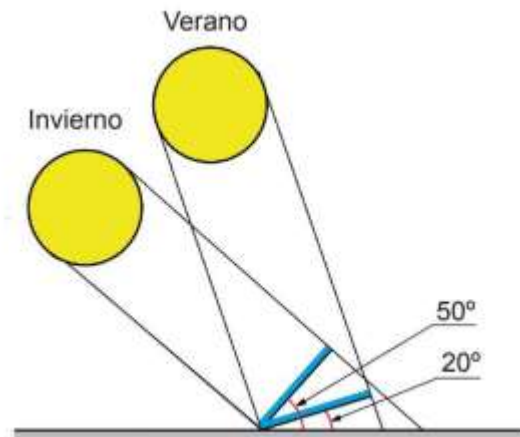


Figura 19 Inclinación de los paneles.

2.7.4 Tipos de inclinación de los paneles.

Hay tres tipos de inclinaciones donde pueden orientarse las placas solares para obtener sus ventajas, ya sea para negocios o residencias:

ORIENTACIÓN SUR.

Se trata de la mejor inclinación y, siendo más precisos, consiste en un ángulo de 180°. Al orientarse las celdas solares hacia esa dirección, recibirán más radiación solar, sin importar si es de día o de noche. De esta forma, obtendrán excelente rendimiento. También el sol incidirá de forma perpendicular hacia la superficie de los paneles para lograr una mejor eficiencia.

ORIENTACIÓN OESTE.

En algunos casos la superficie donde se instalarán los paneles no permite que se orienten hacia el sur. Si esta es su situación, se recomienda la orientación hacia el

oeste. Si bien no es la mejor orientación, si es la más usada para las viviendas y es la opción más conveniente para los sistemas fotovoltaicos sin baterías.

Hay un factor común en la instalación hacia el oeste: la mayor parte del consumo de electricidad se da durante la tarde y la noche, debido a que, en este intervalo, los usuarios retornan a casa después de trabajar

ORIENTACIÓN ESTE-OESTE

En este tipo de inclinación, la mitad de las placas con celdas solares se orientan hacia el oeste y el resto hacia el este. No es una orientación común y no se aprovecha al máximo. Según este tipo, una parte de la instalación se expondrá a una alta radiación durante las mañanas y la otra parte brinda excelente rendimiento durante las tardes. [27]



Figura 20 Orientación de una instalación solar.

Esto supone un número de ventajas.

- La orientación Este-Oeste tiene una forma adicional de aumentar la efectividad del sistema fotovoltaico, y es que, al estar los paneles solares

inclinados en un ángulo de unos 15 grados, se evita el sombreado que producen las primeras líneas de paneles sobre las segundas, típico de la orientación al Sur y de inclinaciones más elevadas.

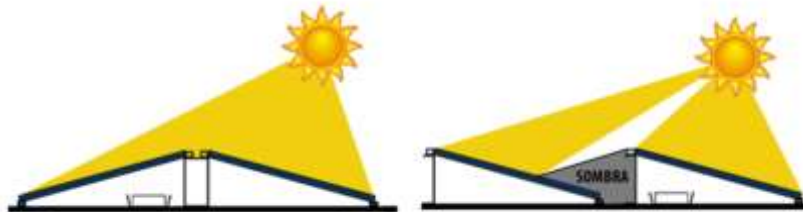


Figura 21 Orientación Este-Oeste.

- También en virtud a la menor inclinación de los paneles solares, la configuración Este-Oeste hace a la instalación fotovoltaica más aerodinámica y, por tanto, menos vulnerable al efecto del viento sobre el marco de los paneles.

También en virtud a la menor inclinación de los paneles solares, la configuración Este-Oeste hace a la instalación fotovoltaica más aerodinámica y, por tanto, menos vulnerable al efecto del viento sobre el marco de los paneles.

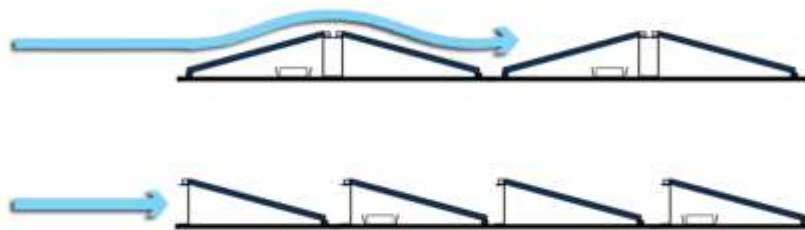


Figura 22 Efecto del viento sobre los marcos de los paneles.

- La mejor respuesta al viento otorga a la configuración Este-Oeste una última ventaja más, y es que requiere menos contrapeso en el anclaje de las placas solares a la cubierta. Como consecuencia, se reduce el peso de la

instalación, anulando así el posible daño sobre tejados o cubiertas menos resistentes [28]

2.7.5 Parámetros de un panel fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos se caracterizan por su curva tensión-intensidad. En estas curvas pueden identificarse los parámetros más importantes de los módulos, cuyos subíndices suelen provenir del inglés, ya que es así como los fabricantes los especifican en la mayoría de los casos. Estos parámetros son los siguientes:

- Intensidad o corriente de cortocircuito (I_{SC}): Es el valor máximo de la intensidad, que se alcanza en condiciones de cortocircuito.
- Tensión a circuito abierto (V_{OC}): es el valor máximo de la tensión, que se alcanza en condiciones de circuito abierto, es decir, sin carga.
- Potencia máxima generada, potencia pico o punto de máxima potencia (P_{pmp} o P_p): es el punto correspondiente al máximo de la curva de potencia.

$$P_p = V_{pmp} \cdot I_{pmp}$$

- Intensidad o corriente en el punto de máxima potencia (I_{pmp}).
- Tensión en el punto de máxima potencia (V_{pmp}).
- Factor de forma (FF): determina la relación entre la potencia máxima y el producto de ($V_{OC} \cdot I_{SC}$), informando sobre la forma de la curva característica tensión-intensidad del módulo. En módulos de silicio cristalino el factor de forma ronda el 0.8, mientras que en módulos de silicio amorfo el factor de forma se encuentra alrededor del 0,6. Este factor se calcula con la siguiente expresión:

$$FF = \frac{P_p}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

- Eficiencia del módulo: es la relación entre la potencia máxima generada por el módulo y el producto del área superficial del módulo por la irradiancia que incide sobre él.

$$Eficiencia = \frac{P_p}{A \cdot 1000 \frac{W}{m^2}}$$

2.7.6 Curvas características de un panel.

La curva característica de un panel fotovoltaico describe la relación entre la corriente eléctrica (I) y el voltaje (V) que produce un panel bajo diferentes condiciones de irradiación solar y temperatura. Esta curva, también conocida como curva I-V, es fundamental para entender cómo se comporta un panel fotovoltaico en diferentes situaciones y es clave para diseñar y optimizar sistemas solares. [29]

Descripción de la Curva I-V

La curva I-V muestra cómo varía la corriente de salida (I) en función del voltaje (V) a la salida del panel. Esta relación depende de varios factores, como la intensidad de la radiación solar que incide sobre el panel y la temperatura del panel.

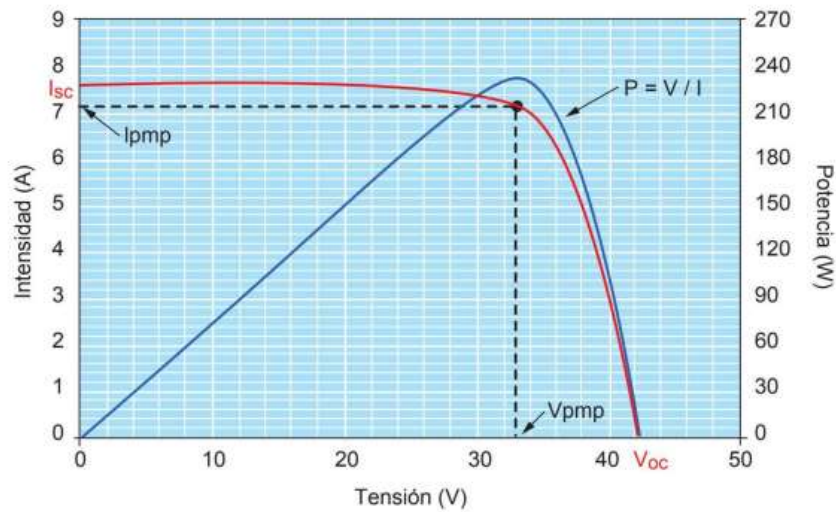


Figura 23 Curva I-V.

Punto de Cortocircuito (I_{sc} - Corriente de Cortocircuito):

- Es el punto en la curva I-V donde el voltaje es cero (cuando los terminales del panel están en cortocircuito) y muestra la máxima corriente que puede generar el panel bajo la irradiancia solar presente.
- Representa la corriente máxima que puede suministrar el panel cuando no hay carga conectada, y por lo tanto no hay voltaje en los terminales.

Punto de Circuito Abierto (V_{oc} - Voltaje de Circuito Abierto):

- Es el punto donde la corriente es cero (cuando no hay carga conectada al panel) y muestra el máximo voltaje que el panel puede generar bajo la irradiancia solar presente.
- Representa el voltaje máximo que el panel puede producir cuando no hay ninguna carga conectada, es decir, cuando el circuito está abierto.

Punto de Máxima Potencia (P_{mp}):

- Definición: Es el punto en la curva I-V donde el producto de la corriente y el voltaje ($P = V \times I$) es máximo. Este punto se llama punto de máxima potencia (MPP).

- Significado: En este punto, el panel opera de manera más eficiente, entregando la máxima potencia posible a la carga conectada. Es crucial que los sistemas solares funcionen cerca de este punto para maximizar la generación de energía.

Punto de Máxima Potencia (Pmp):

- Es el punto en la curva I-V donde el producto de la corriente y el voltaje ($P = V \times I$) es máximo. Este punto se llama punto de máxima potencia (MPP).
- En este punto, el panel opera de manera más eficiente, entregando la máxima potencia posible a la carga conectada. Es crucial que los sistemas solares funcionen cerca de este punto para maximizar la generación de energía.

2.8 Efecto sombra.

En el proceso de diseño de una instalación, es fundamental prever dónde se ubicarán los módulos para evitar la existencia de sombras sobre ellos. Estas sombras pueden ser debidas a edificios cercanos, árboles, montañas, etcétera.

Incluso los propios módulos podrían proyectar sombras sobre otros, por lo que es de vital importancia calcular la distancia adecuada entre filas de módulos, Así, conseguiremos mejorar la eficiencia de la instalación y evitar posibles deterioros en los módulos que las sombras pueden provocar.

Además de los edificios, árboles, montañas u otros elementos cercanos, las propias filas de módulos o de captadores también pueden ser una fuente de sombras si no existe una separación adecuada entre ellas.

2.9 Inversor

Los inversores de una instalación fotovoltaica son uno de los elementos críticos ya que son los encargados de transformar la energía eléctrica directa generada por los módulos fotovoltaicos en energía eléctrica alterna (CD-CA).

El inversor; para ser interactivo con la red eléctrica, debe cumplir con las especificaciones y lineamientos que el suministrador imponga. Las limitantes y disposiciones por parte del proveedor de la energía eléctrica son respaldados por un contrato de interconexión, el cual depende de la tipología que tomará el cliente para el manejo de su energía.

Sus principales funciones son:

- **Convertir la energía:** El inversor convierte la corriente continua en corriente alterna, la cual, usada por la totalidad de aparatos eléctricos, aunque existen equipos que funcionan con corriente directa como las bombas solares que su funcionamiento es constante.
- **Optimizar la energía al máximo:** Permite generar mayor energía de los paneles solares. Se aíslan los paneles con la finalidad de aumentar la producción de energía, mejorando así el rendimiento general del sistema.
- **Seguimiento y protección:** Un inversor solar hace análisis de los rendimientos de energía del sistema fotovoltaico, de la actividad eléctrica y se encarga de reportar si surgen problemas.
- **Monitorización:** Un seguimiento de la producción generada por los paneles solares, permitirá conocer si existe algún fallo en alguno de ellos y si debemos hacer los arreglos necesarios para que el rendimiento de la instalación no sea afectado. [14]



Figura 24 Inversor.

Para la selección de los inversores adecuados se deben tener en cuenta las diferentes configuraciones que existen en la actualidad y ver que ventajas y desventajas tienen.

Configuraciones para conexión a red

- Microinversores o inversores integrados

Se trata de pequeños inversores, cuya potencia no suele superar los 600 W, que se instalan junto a cada módulo de forma que todos ellos quedan conectados en paralelo. Este método permite ahorrar en cableado de corriente continua, proporciona modularidad a la instalación y permite que la avería de uno de los modulos afecte a la producción del resto. Sin embargo, esta configuración implica un alto coste, por lo que está limitada a instalaciones de baja tensión de pequeña escala.

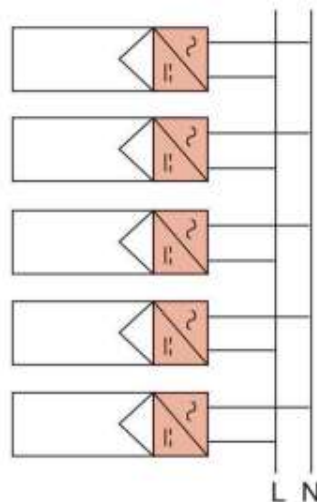


Figura 25 Microinversores o inversores integrados.

- Inversor monofásico para conexión a red monofásica

Cuando la instalación fotovoltaica conectada a red es de potencia inferior a 5 kW, se suele utilizar un único inversor monofásico conectado a la red de baja tensión (230 V).

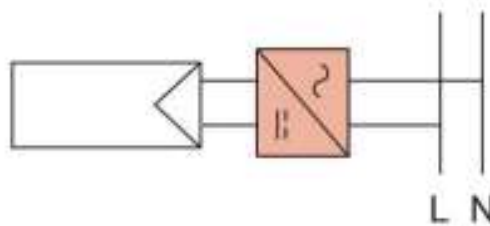


Figura 26 Inversor monofásico para conexión a red monofásica.

- Inversores monofásicos para conexión a red trifásica

Si la instalación tiene una potencia superior a 5 kW y hasta 100 kW. la conexión a la red suele ser trifásica en baja tensión. Una configuración habitual es conectar un inversor monofásico a cada una de las tres fases, quedando la potencia de la instalación repartida de forma equilibrada entre todos los inversores, cada uno de los cuales tiene una salida monofásica de 230 V.

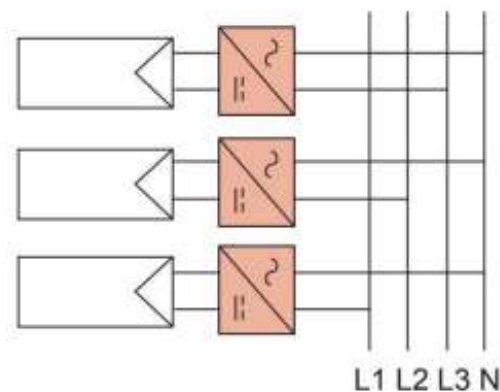


Figura 27 Inversores monofásicos para conexión a red trifásica

- Inversor central trifásico

Todas las cadenas del generador quedan conectadas en paralelo, lo cual supone una baja inversión económica y una instalación más sencilla. Sin embargo, esta configuración se ve más afectada por las sombras, pudiendo limitar la producción óptima de cada cadena. Por ello, se recomienda utilizar esta solución solamente si no se prevé la existencia de sombras sobre módulos y todos ellos tienen la misma orientación e inclinación. Se utiliza en algunas instalaciones cuya potencia nominal se encuentra entre 15 y 100 kW, conectándose a una red trifásica de baja tensión (400 V).

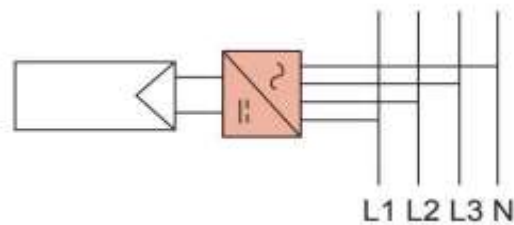


Figura 28 Inversor central trifásico.

- Inversores trifásicos en paralelo

Los inversores trifásicos se conectan en paralelo en instalaciones de media o alta potencia, como en sistemas con seguimiento solar, donde cada estructura tiene su propio inversor. Esto mejora la fiabilidad y el rendimiento de la instalación, ya que, si una falla en una estructura no afecta al resto, y permite futuras ampliaciones. [32]

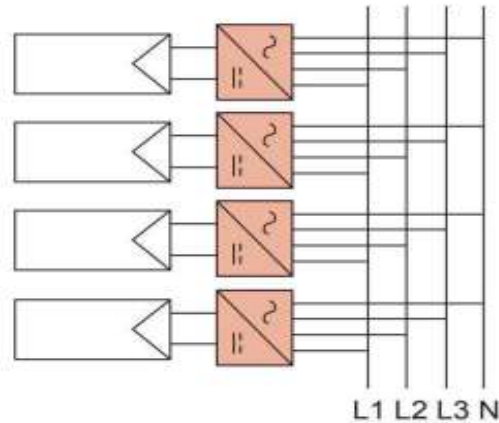


Figura 29 Inversores trifásicos en paralelo.

2.10 Medidor bidireccional

Un medidor bidireccional de la CFE es un dispositivo hecho para contabilizar la electricidad que consumes por parte de la red local y también para registrar la energía que produces con tu sistema fotovoltaico. [30]

Un equipo bidireccional recibe ese nombre porque contabiliza tanto la energía entrante como la energía saliente. Este dispositivo registra tres tipos de medidas:

- La energía recibida, es decir, la electricidad que recibes de la red local
- La energía neta producida por tus paneles solares
- La energía entregada, es decir, el excedente que no utilizas y envías a la red.

2.11 Supresor de picos.

Un supresor de picos es un dispositivo de protección contra sobretensiones que funciona como interfaz entre una fuente de alimentación eléctrica y un dispositivo conectado. Por lo tanto, suprime y regula la tensión para que esta sea constante en caso de un pico o sobretensión. [31]

2.12 Dispositivos de protección.

Los dispositivos de protección proporcionan seguridad tanto a las personas como a los equipos de la instalación, minimizando las consecuencias de posibles contactos directos o indirectos, cortocircuitos, sobreintensidades y sobretensiones.

Los principales elementos de protección son los siguientes:

1. Diodos de bloqueo: se instalan en la salida de cada cadena de módulos para que no se disipe la potencia generada en caso de defecto, evitando que la corriente circule en sentido contrario al que se pretende.
2. Diodos de bypass o diodos de paso: se colocan en la caja de conexiones de cada módulo y minimizan los problemas ocasionados por sombreados parciales, ya que impiden que las células en sombra actúen como receptores.

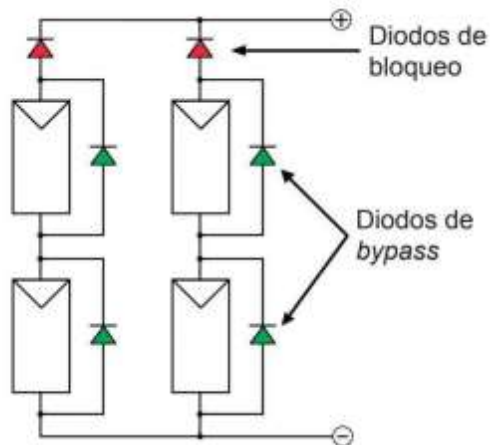


Figura 30 Diodos de bloqueo y Diodos de bypass.

3. Fusibles: cada equipo de la instalación suele incluir internamente sus propios fusibles, con el objetivo de protegerlo frente a sobre intensidades. También se colocan fusibles externos para la protección de los circuitos de corriente continua contra sobrecargas y cortocircuitos.



Figura 31 Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas.

Interruptores termomagnéticos: Se colocan para proteger los diferentes circuitos de corriente alterna. Al igual que los fusibles, también protegen contra sobrecargas y cortocircuitos.



Figura 32 Interruptores termomagnéticos.

4. Interruptores diferenciales: Son dispositivos de seguridad que protegen contra fugas de corriente eléctrica a tierra, lo que podría representar un riesgo de choque eléctrico o incendio. Estos interruptores detectan diferencias entre la corriente que entra y sale de un circuito.



Figura 33 Interruptor diferencial.

5. Puesta a tierra: Puesta a tierra de una instalación dota de seguridad a las personas y a los equipos derivando a tierra la corriente de defecto que se pueda generar debido a fallos de aislamiento, averías, etcétera. Se conectan a tierra las estructuras de los módulos, carcasas de los cuadros eléctricos, etcétera. [32]



Figura 34 Puesta a Tierra.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se presenta la metodología para el diseño y optimización de un sistema fotovoltaico, centrándose en los cálculos esenciales para asegurar su eficiencia y rendimiento.

Veremos el cálculo de potencia, donde se determinó la capacidad necesaria del sistema para satisfacer las demandas energéticas específicas del proyecto, se abordará el cálculo de la energía generada, estimando la producción anual del sistema fotovoltaico bajo distintas condiciones climáticas y de irradiación solar.

Se realizó también el cálculo de eficiencia del sistema, evaluando las pérdidas inherentes al proceso de conversión de energía solar en electricidad utilizable, y se discutirán estrategias para minimizar estas pérdidas.

Finalmente, se detalló el dimensionamiento del sistema, abarcando la selección del inversor adecuado, el diseño del cableado, y otros componentes esenciales que aseguran la estabilidad y el rendimiento óptimo del sistema.

EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

La evaluación de la infraestructura es un paso esencial en la implementación de un sistema fotovoltaico, ya que asegura que tanto el sitio como los componentes eléctricos y estructurales sean aptos para soportar el sistema de manera eficiente y segura.

Se evaluó el espacio disponible en techos o áreas abiertas, considerando la superficie requerida para los paneles y el acceso para mantenimiento. Este análisis exhaustivo permite optimizar el rendimiento del sistema y garantiza la durabilidad y seguridad a largo plazo.

3.2 CÁLCULOS PARA EL SFV

3.2.1 Calcular el consumo diario del usuario.

La cantidad de energía eléctrica a generar depende de las necesidades puntuales de cada instalación. Si se desea autogenerar todo el consumo de energía de su instalación o vivienda, con la factura de energía se obtiene el consumo promedio mensual. Dividir el consumo mensual entre los 30 días promedio del mes, nos permite obtener el consumo promedio diario de energía.

$$C_{diario} = \frac{C_b}{60 \text{ días}}$$

Donde:

- C_{diario} = Consumo diario estimado (kWh)
- $C_{bimestral}$ = Consumo promedio bimestral (kWh)

3.2.4 Calcular las horas solar pico.

Las Horas Sol Pico se determinan dividiendo el índice solar (kWh/m²) de la zona donde se instalará el panel, sobre la constante de irradiancia del panel el cual normalmente es de 1000 W/m² en condiciones estándares de temperatura (STC).

$$HSP = \frac{I_{SOLAR}}{I_{PANEL}}$$

Donde:

- HSP : Horas Sol Pico
- I_{SOLAR} : Índice solar de la region (kWh/ m²)

- $I_{PANEL} = \text{Irradiancia del panel (W/ m}^2\text{)}$

Ingresando al portal del Global Solar Atlas e indicando la dirección y localidad de la zona a instalar se obtiene en una hoja de Excel la irradiación solar promedio por hora en los meses del año.

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, la irradiación normal directa es de aproximadamente $5000(\text{W/ m}^2)$.

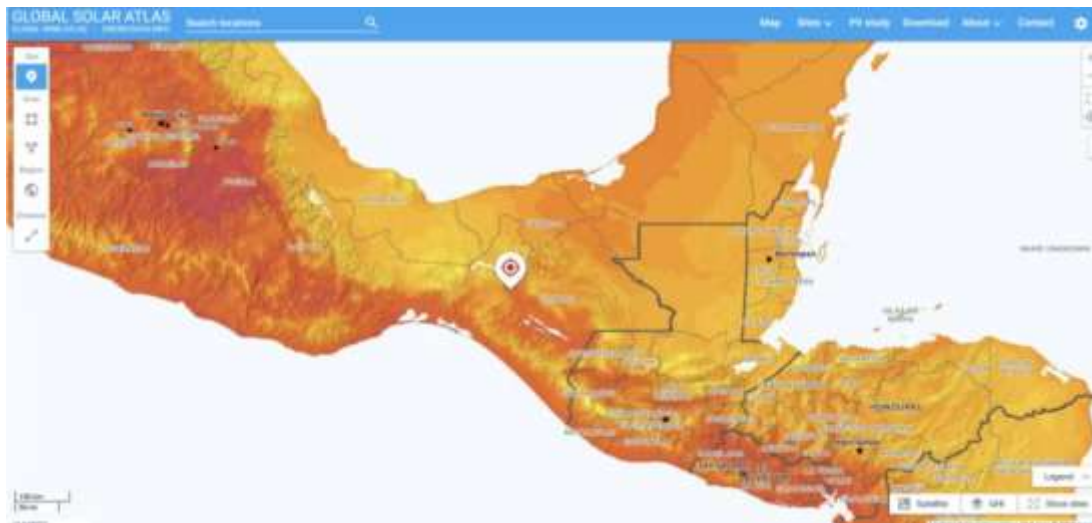


Figura 35 Irradiación global diaria en el estado de Chiapas 2024.

3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Una vez que se obtienen el consumo diario por día, las horas solar pico, se hace una estimación del 70% de eficiencia del sistema, considerando las pérdidas.

La estimación se realiza ya que ningún sistema se exceptúa de tener pérdidas en sus componentes y dichas pérdidas aumentan conforme a la temperatura, para ello estimamos un 30% de pérdidas, tal como se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 11 Total de pérdidas en un sistema fotovoltaico.

Pérdida por cableado eléctrico.	3%
Pérdida por conversión de energía.	5%
Pérdida por polvo y sombra.	15%
Perdida por sombra	6%
Total de perdidas	29% ≈ 30%

3.2.2 Cálculo de potencia.

El cálculo de potencia de un sistema fotovoltaico es el proceso de determinar la capacidad de generación de electricidad de un conjunto de paneles solares. Este cálculo es esencial para diseñar y dimensionar adecuadamente un sistema fotovoltaico, asegurando que pueda satisfacer las necesidades energéticas de un hogar, una empresa o una instalación específica.

La cantidad de potencia instalada en paneles que se necesita depende de la zona geográfica:

$$P_{REQ} = \frac{C_{DIARIO}}{HSP}$$

Donde:

- P_{REQ} : Potencia de paneles requerida (kW)
- C_{DIARIO} : Consumo diario estimado (kWh)
- HSP = Horas Sol Pico (h)

3.3.1 Selección del módulo fotovoltaico.

La cantidad de paneles necesarios se puede calcular al dividir la potencia requerida sobre la potencia del panel a utilizar.

$$N_P = \frac{P_{REQ}}{P_{PANEL}}$$

- N_p : Numero de paneles necesarios
- P_{REQ} : Potencia requerida (W)
- P_{PANEL} = Potencia del panel (W)
- **Tecnología:** La tecnología utilizada para los paneles solares son de tipo monocristalinos

Para la selección de los paneles existen varios aspectos que se deben tomar en cuenta, entre las más relevantes están:

- Se considera el área disponible para la instalación, debido a que sobre esta se posicionara el generador fotovoltaico.
- El tipo de material, los más comunes en el mercado son monocristalino y policristalino, el primero con leves mejores características de rendimiento y tamaño que el segundo, pero con un costo más elevado.
- Normas de calidad y aislamiento eléctrico que debe estar diseñado para los voltajes máximos del sistema y debe cumplir con la norma ISO 9001.
- Se debe considerar la disminución de costos de soportes y conexión eléctrica por lo que se recomienda paneles solares con altas potencias.
- Los voltajes nominales o voltajes máximos del sistema, se recomienda que estos sean altos para generar una misma potencia con una menor intensidad de corriente

Tabla 12 Diferentes tecnologías de paneles fotovoltaicos.

Tecnología	Superficie requerida para producir 1 kW (m ²)	Eficiencia (%)
Silicio monocristalino	7 - 9	7 - 9
Silicio policristalino	8 - 11	8 - 11
Silicio amorfo	14 - 20	14 - 20

Módulos fotovoltaicos presentes en el mercado.

- JA Solar JAM72S30-550MR.

Es una opción de alto rendimiento diseñada para aplicaciones en proyectos comerciales y a gran escala. Este modelo destaca por su potencia de salida de 550W, lo que lo convierte en uno de los paneles más potentes en el mercado actual. El panel cuenta con células solares de tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell), que permiten una mejor captación de la radiación solar al aprovechar la luz reflejada en la parte posterior de las células.

Tiene una eficiencia de conversión fotovoltaica que supera el 21%, lo que maximiza la producción de energía en comparación con paneles de menor rendimiento.

El JA Solar JAM72S30-550MR cumple con estándares internacionales como IEC 61215 e IEC 61730, lo que asegura su fiabilidad y seguridad.

Ofrece una garantía de producto de 12 años y una garantía de rendimiento lineal de 25 años, garantizando que su rendimiento se mantendrá por encima del 80% incluso después de dos décadas de uso.



JA SOLAR

Figura 36 Panel solar JA Solar.

- REC TwinPeak 3S mono 72.

La mejor para maximizar tu producción de energía en espacios reducidos

El panel solar REC TwinPeak 3S mono 72 es una potente solución fotovoltaica que combina tecnología monocristalina de alta eficiencia con un diseño TwinPeak que minimiza las pérdidas por sombreado.

Con 72 celdas solares, este panel ofrece una mayor capacidad de generación de energía, siendo ideal para instalaciones comerciales. Su alta potencia de salida y resistencia a altas temperaturas garantizan un rendimiento consistente en diversas condiciones climáticas. Respaldado por un marco robusto, certificaciones y garantías sólidas, el REC TwinPeak 3S mono 72 es una elección confiable y eficiente para maximizar la producción de energía solar, incluso en espacios limitados.

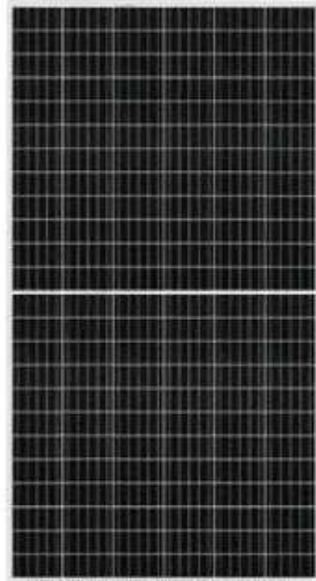


Figura 37 Panel solar REC 3S mono 72.

- TSC 410

La más eficiente para espacios residenciales y comerciales.

El panel solar TSC 410 es un destacado producto de la marca TSC, que ofrece una eficiencia excepcional del 20,9%. Con una potencia de 410 Wp y una densidad de potencia de 206 Wp/m², este panel es capaz de generar una cantidad significativa de energía en relación con su tamaño. Al ser de tecnología monocristalina, garantiza una conversión eficiente de la luz solar en electricidad.

Sus dimensiones lo hacen adecuado para diversas aplicaciones y su peso lo hace relativamente ligero y fácil de manejar. Las características de este panel, como su alta eficiencia y potencia, lo convierten en una opción atractiva para sistemas solares residenciales y comerciales.



Figura 38 Panel Solar TSC 410

- SunPower MAXEON 6 AC 435

El panel más vanguardista del mercado, potente y eficiente.

El SunPower MAXEON 6 AC 435 representa la vanguardia en paneles solares al fusionar la tecnología de células solares MAXEON de SunPower con la conveniencia de una unidad de corriente alterna (AC) integrada. Con una potencia sobresaliente de 435 vatios, este panel ofrece un rendimiento excepcional en la generación de energía solar.

Las células solares monocristalinas MAXEON, reconocidas por su alta eficiencia, aseguran una producción constante incluso en condiciones de luz variable. Una característica distintiva es su unidad AC incorporada, simplificando la instalación al eliminar la necesidad de un inversor externo y agilizando la conexión a la red eléctrica. Resiliente y duradero, el SunPower MAXEON 6 AC 435 personifica la convergencia de potencia, eficiencia y practicidad en la generación de energía solar.

[32]



Figura 39 Panel Solar SunPower Maxeon 6 AC 435

3.4 Selección y dimensionamiento del inversor.

Un inversor de conexión a red debe tener características de regulación de tensión y corriente de los paneles, sincronización de la señal, filtración de armónicos y desconexión de ser necesario. La potencia del inversor se selecciona de acuerdo con la potencia generada.

$$N_{INV} = \frac{P_{REQ}}{P_{INV}}$$

Donde:

- N_{INV} : Numero de inversores necesarios.
- P_{REQ} : Potencia requerida (W)
- P_{INV} = Potencia del inversor (W)

Algunas de las principales características que deben de considerarse al seleccionar un inversor son:

- Capacidad – Es la potencia de salida del equipo.
- Eficiencia - El estándar estadounidense es la eficiencia CEC.
- Rango de voltaje de entrada – Entre más grande sea este rango, el inversor será más versátil a diferentes opciones de diseño y permanecerá más tiempo encendido durante el día.
- Certificaciones – Se recomienda que el equipo cumpla con certificaciones reconocidas a nivel mundial, tal como la UL.
- Protección contra exteriores – Se recomienda que sea Nema 3R, IP65 o superior.
- Peso – Simplifica la instalación
- Tipo de ventilación – Reducción de espacios y fiabilidad del equipo.
- Versatilidad en el rango de voltaje en AC*

Inversores en el mercado.

- GROWATT MIN 6000 TL-X2.

El Growatt MIN 6000 TL-X2 ofrece una eficiencia máxima de hasta el 98,4%, lo que garantiza un alto rendimiento en la conversión de la energía generada por los paneles solares en electricidad utilizable para el hogar o negocio. Esta eficiencia lo coloca entre los inversores más competitivos en el mercado actual para sistemas monofásicos.

El diseño compacto y ligero del Growatt MIN 6000 TL-X2 facilita su instalación en espacios reducidos. A pesar de su tamaño, cuenta con una amplia gama de funcionalidades avanzadas que aseguran un rendimiento óptimo.

Viene con dos MPPTs independientes (Maximum Power Point Tracking), lo que le permite maximizar la captación de energía de los paneles solares incluso cuando estos están orientados en distintas direcciones o bajo condiciones de sombreados

parciales. Esto lo hace especialmente eficaz en techos complejos o zonas con obstáculos.

- Además, está preparado para la monitorización remota a través de Wi-Fi o LAN mediante la aplicación Growatt Shine, que permite a los usuarios supervisar y controlar su sistema desde cualquier dispositivo móvil o computadora, detectando posibles fallos o realizando ajustes de forma remota.



Figura 40 Inversor "GROWATT".

- Fronius Primo

Los inversores Fronius, marca austriaca, han mantenido su posición en lo más alto del ranking de inversores solares gracias a su rendimiento y fiabilidad,

Aunque estos componentes no suelen dar problemas, es importante que ofrezcan un buen servicio al cliente que facilite la comunicación

Estas cualidades han convertido a la compañía en una buena alternativa tanto para el autoconsumo residencial como industrial. Enfocándonos en el inversor Fronius Primo, tiene un rendimiento en torno al 98%, pero no solo se caracteriza por su alta eficiencia, sino por la calidad y baja tasa de incidencia. Aunque esta línea presenta varios modelos, la diferencia radica en la potencia de la instalación fotovoltaica.

Podemos distinguir varias potencias en un rango entre 3 kW y 8,2 kW, convirtiéndose en una opción interesante para viviendas con un consumo energético estándar.

El sistema de refrigeración activa evita los puntos calientes y regula la circulación del aire en el interior del dispositivo. De esta forma, se mantiene la temperatura a niveles bajos.

Por otro lado, posee una tecnología Snapinverter, que facilita el montaje del inversor, así como el mantenimiento. Además, su diseño Superflex otorga al dispositivo versatilidad, de manera que podamos optimizar la producción, aunque existan varias orientaciones de tejado o sombras.

Su herramienta de monitorización te dará acceso a determinar qué aparatos consumen en exceso y analizar y optimizar el consumo de energía para extraer el máximo rendimiento a tu instalación.



Figura 41 Inversor Fronius Primo.

- Fronius Symo

El inversor Fronius Symo se utiliza para instalaciones trifásicas. Es cierto que son menos utilizados en viviendas, pero podemos encontrarlos en hogares grandes o con electrodomésticos que requieren este tipo de instalación. Además, se convierten en una opción ideal para tejados con varias orientaciones o instalaciones con superficies irregulares.

Del mismo modo que el modelo Fronius Primo, ofrece soluciones inteligentes de monitorización. En este caso, el rango de potencia es más amplio debido al tipo de instalación. Varía entre los 3 kW y los 20 kW. Al mismo tiempo, es compatible con potencias de sistemas de 4,5 kWp hasta los 15 kWp. Su eficiencia supera el 98%.



Figura 42 Inversor Fronius Symo.

- Inversor Huawei SUN2000

Huawei se caracteriza por comercializar inversores con una buena relación calidad-precio. La compañía coreana también presenta soluciones para instalaciones monofásicas y trifásicas con las siguientes potencias:

Instalaciones monofásicas: SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1.

Instalaciones trifásicas: SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1.

Primero, los inversores monofásicos -más comunes en viviendas- tienen potencias nominales entre los 2 kWh y 6 kWh. En cambio, los trifásicos se mueven en un intervalo entre los 3 kWh y los 10 kWh.

Ambos modelos son híbridos y superan el 98% de eficiencia. Asimismo, funcionan en instalaciones aisladas. Esta es una de las características que más nos gustan por su versatilidad.



Figura 43 Inversor Huawei SUN2000.

- Inversor Sungrow

Los inversores Sungrow tienen ciertas peculiaridades que no vemos en otros modelos.

Y es que esta marca asiática es de las pocas compañías que incluyen función backup box en el propio inversor.

Pero, además, son sistemas híbridos capaces de almacenar energía y convertirla. Están diseñados para optimizar los recursos y evitar un exceso de excedentes de energía a la red, a diferencia de otros dispositivos, es uno de los fabricantes que tiene más compatibilidades con otras marcas como, por ejemplo, las baterías BYD, Axitec o LG.

Por otra parte, lo que nos ha llamado la atención es que es compatible con un sistema de gestión doméstica (HEMS en inglés). Este método viene a revolucionar la manera en qué gestionamos la energía.

Asimismo, ofrece un alto rendimiento y una eficiencia máxima de hasta el 98%, así como una carga y descarga rápida que permite mejorar los resultados de autosuficiencia.

Para monitorizar el sistema, tenemos la aplicación iSolarCloud. Asegura que todo está en perfecto funcionamiento y, en el caso de haber problemas, el sistema lo comunicará de inmediato al soporte técnico.

También muestra los datos en tiempo real y tienes una supervisión 24/7 tanto en línea como en pantalla integrada. [33]



Figura 44 Inversor Sungrow.

3.3.2 Cantidad de paneles en serie y paralelo.

La tensión lograda depende del arreglo o conjunto de paneles la cual aumenta al conectar los paneles en serie debido a la suma de las tensiones VMP de cada panel. Es por lo anterior, que se debe comprobar cuantos paneles son necesarios para que el inversor trabaje en su rango de tensión (VMPP).

$$P_S = \frac{V_{MPP}}{V_{MP}}$$

Donde:

- P_S : Número de paneles conectados en serie.
- V_{MPP} : Tensión en máximo punto de potencia del inversor (V)
- V_{MP} = Tensión en máximo potencial del panel (V)

El inversor seleccionado cuenta con dos números de MPPT y con una cadena de MPPT por lo que conectamos los 11 paneles en serie y conectarlo en el único string que se encuentra en el inversor.

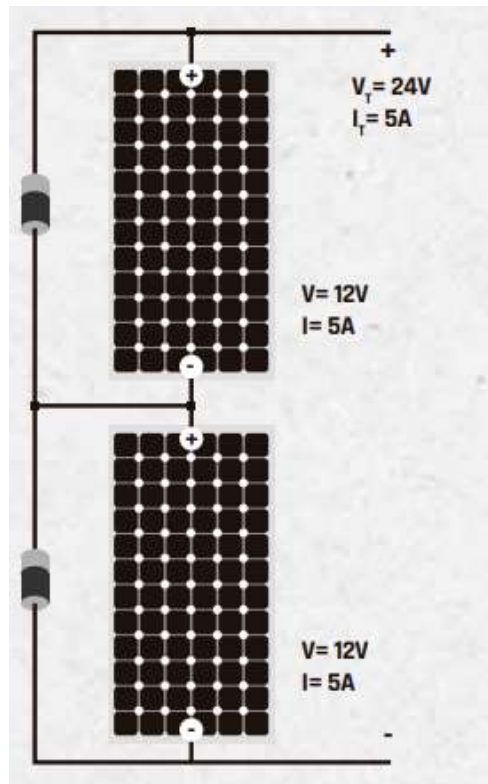


Figura 45 Paneles conectados en serie.

Para calcular la cantidad de cadenas o paneles en paralelo mediante la división de la cantidad total de paneles y la cantidad en serie.

$$P_p = \frac{P_{TOTAL}}{P_s}$$

Donde:

- P_p : Número de paneles conectados en paralelo
- P_{TOTAL} : Número total de paneles
- $P_s =$ Número de paneles en paralelo

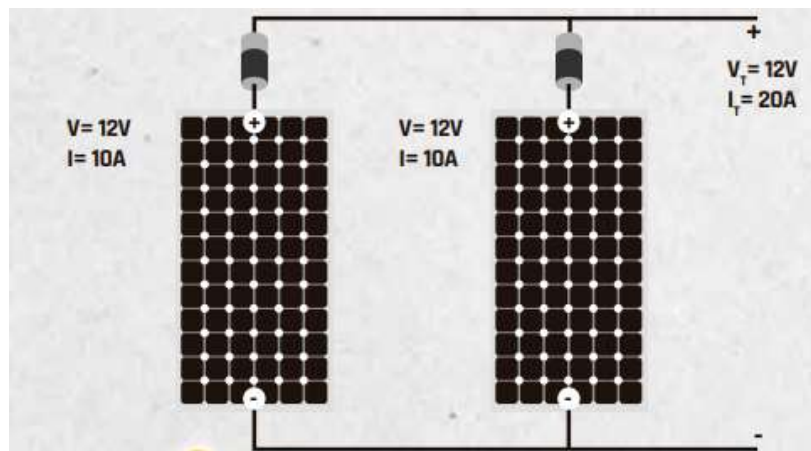


Figura 46 Paneles conectados en paralelo.

La corriente del arreglo aumenta cuando se instalan paneles en paralelo, por lo cual se debe comprobar que dicha corriente se encuentre dentro del rango de entrada del inversor.

En este caso se descarta la conexión en paralelo debido a que se necesitó amentar el voltaje y no la corriente.

3.3 DISTANCIA MINIMA ENTRE FILAS DE MODULOS

La distancia (d) mínima que debe existir entre dos filas depende de la latitud del lugar (ϕ) y de la altura (h) que existe entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente

$$d = \frac{h}{\text{tg}(61 - \phi)}$$

Donde:

- d: Distancia entre el panel y cualquier objeto causante de sombra
- H: Altura de objeto causante de sombra sobre el panel fotovoltaico

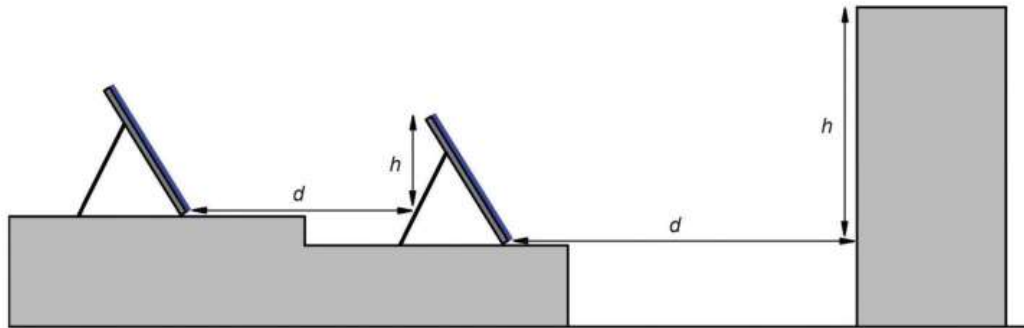


Figura 47 Separación entre filas y filas y objetos.

Lo cual garantiza que los paneles se encuentren libres de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año. [34]

3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO Y PROTECCIONES.

Los cables para sistemas fotovoltaicos deben estar diseñados para soportar condiciones de intemperie, sobre tensiones y condiciones específicas del ambiente donde serán instalados

Considerando la corriente nominal de salida del inversor, e realiza cálculo del cableado se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\delta \cdot \Delta V}$$

Donde:

- S = Sección del conductor (mm^2)
- Factor de largo de ida y vuelta = 2
- L = Largo del cable (m)
- I = Corriente (A)
- δ = Conductividad eléctrica del cobre = $56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$
- ΔV = Caída de tensión permitida

3.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ANCLAJE

El tipo de anclaje para los soportes de módulos solares fotovoltaicos depende de su ocupación en cubierta, terrado, fachada o sobre mástil y de las fuerzas que actúan sobre éstos a consecuencia de la presión del viento a la que se encuentre sometido. Como los módulos siempre estarán situados con dirección Sur, el único viento que puede representar un riesgo es el que venga del Norte, que producirá fuerzas de tracción sobre los anclajes, que siempre son más destructivas que las fuerzas de compresión.

Se puede calcular la presión del viento sobre una superficie que es igual a la siguiente ecuación:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot V^2 \cdot S$$

Donde:

- P_{viento} = Presión del viento (Pa)
- D = Densidad del aire (kg/m^3) = $1.225 \frac{kg}{m^3}$
- V = Velocidad del viento (m/s)
- S = Superficie del módulo fotovoltaico (m^2)

Para evaluar con precisión la fuerza que puede actuar sobre los módulos, se emplea la siguiente ecuación:

$$F = P \cdot S \cdot \text{sen}^2 a$$

- Donde:
- F = Fuerza en Newton.
- P = Presión frontal del viento si los módulos estuvieran en posición vertical.
- S = Superficie de la placa.
- β = ángulo de inclinación de los módulos respecto a la horizontal.

3.7 ESTRUCTURAS DE LOS PANELES.

Las estructuras solares son imprescindibles para dotar a los paneles solares de la inclinación y orientación que necesitan a la hora de aprovechar al máximo el potencial de la instalación solar.

Los diferentes tipos de superficies (planas o inclinadas), junto a otros factores importantes (tipo de terreno y condiciones climáticas), promueven la necesidad de contar con distintas estructuras solares que puedan adaptarse a cada una de ellas.
[32]

Tipos de Estructuras:

1. Estructuras fijas no ajustables.

Tienen la misma posición a lo largo de todo el año (su inclinación no puede variarse), por lo que debe estudiarse con cuidado la orientación e inclinación de los módulos para captar la máxima radiación solar posible. Debido a su simplicidad, son las más económicas.

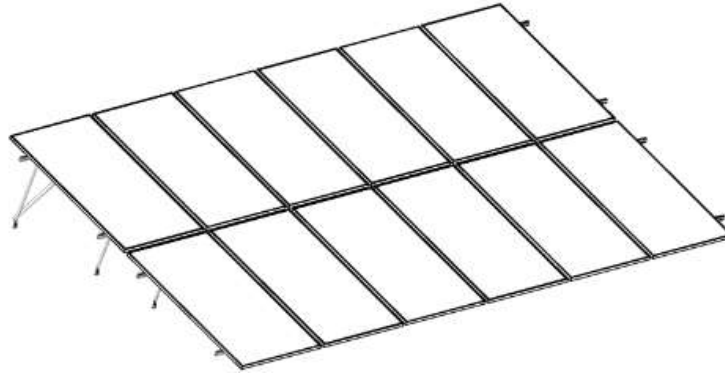


Figura 48 Estructuras fijas no ajustables.

2. Estructuras fijas ajustable

Se puede variar su inclinación, ya que poseen dos o más posiciones de regulación. Este ajuste se realiza de forma manual dependiendo de la época del año. Para ello, debe haber una forma fácil de acceder a estas estructuras. En invierno, el ángulo de inclinación deberá ser mayor que en verano.

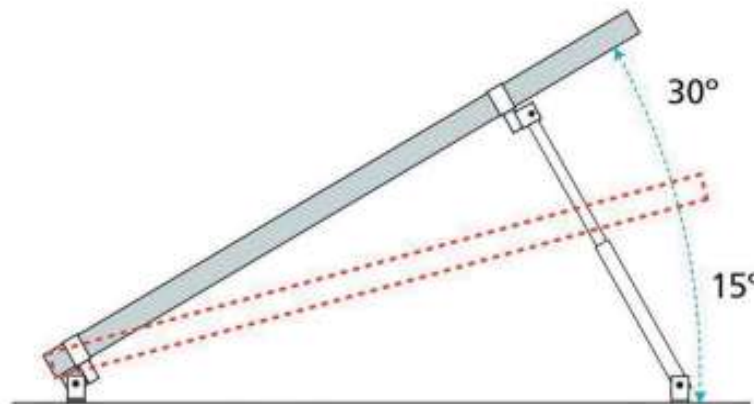


Figura 49 Estructuras fijas ajustables.

Las estructuras fijas pueden clasificarse en función de su lugar de instalación:

- ✓ Estructuras en el suelo.
- ✓ Estructuras en poste.
- ✓ Estructuras en fachadas.
- ✓ Estructuras sobre cubierta.



Figura 50 Estructuras fijas.

CAPÍTULO 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Muchas personas tienen la intención de adquirir un sistema fotovoltaico, pero es necesario saber que no es para todos. A continuación, la explicación: La energía eléctrica doméstica que proporciona CFE a la mayoría de los hogares tiene un subsidio hasta cierta cantidad de kWh consumidos.

Si el consumo bimestral es menor a 800 kWh, se tiene derecho al subsidio antes mencionado y este es dado en tres escalones los cuales son: básico, intermedio y excedente. El costo de cada kWh en tarifa subsidiada es el siguiente:

Tabla 13 Comparación de los tres escalones de consumo de la tarifa 1B.

TIPO DE CONSUMO	Costo por kW	kWh/bimestral.
BASICO	\$0.933	Primeros 250
INTERMEDIO	\$1.083	Siguientes 200
EXCEDENTE	\$3.724	Cada kW después de los anteriores.

Según la información anterior, si el consumo bimestral es de 800 kWh, el usuario tendría que pagar:

Tabla 14 Comparación de los tres escalones de consumo con el IVA incluido tarifa 1B.

TIPO DE CONSUMO	Costo por kWh + IVA	kWh/bimestral	Pago
BASICO	\$1.082	250	\$270.5
INTERMEDIO	\$1.257	200	\$251.4
EXCEDENTE	\$4.319	350	\$1511.65

Se toma en cuenta la siguiente tabla cuando el promedio anual supera los 800 kW por bimestre o como consumo anual 4800 kW.

Tabla 15 Costo de la tarifa DAC.

TIPO DE CONSUMO	Costo por kW + IVA	KWh/bimestral	Pago
DOMESTICA DE ALTO CONSUMO	\$6.305	800	\$5044

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

4.1.1 Ubicación de la instalación

Existen muchas tarifas domésticas, dependiendo de la zona se le puede añadir una letra. A, B, C, D, E o F.

En este caso vamos analizar la Tarifa 1B en la región sureste, específicamente en Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Nos enfocaremos en los primeros tres escalones tarifarios.

Y para el cuarto escalón que es la tarifa DAC se realizó una instalación fotovoltaica ubicada en la Colonia “La misión” en Tuxtla Gutiérrez Chiapas.

4.1.2 Cálculo del recurso solar

Los datos se obtienen de bases meteorológicas, como el Servicio Meteorológico Nacional.

Para calcular la radiación solar mensual estimada en un lugar específico, se siguen los siguientes pasos.

*Radiación mensual = radiación diaria promedio * Numero de día del mes.*

$$Radiación\ mensual = \frac{5000\ Wh}{m^2} * 30\ dias = 150,000Wh/m^2$$

Para calcular la potencia eléctrica estimada generada por un sistema fotovoltaico a partir de la radiación solar mensual estimada, se utiliza la siguiente fórmula general.

$$E = A * H_m * \eta$$

Donde:

E= Energía eléctrica generada en un mes (kW/mes)

A= Área de los paneles solares

H_m= Radiación solar mensual estimada.

η = Eficiencia global del sistema fotovoltaico.

El cálculo sería:

$$E = 31.2m^2 * 150kWh/m^2 * 0.18 = 842.4 kWh/mes.$$

4.1.3 Angulo de inclinación de los módulos solares.

Para la inclinación óptima se calcula con la siguiente ecuación

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

En este caso Tuxtla Gutiérrez tiene una latitud estimada de 16°.

$$\beta = 3.7 + 0.69 * 16^\circ = 14.7 \approx 15^\circ$$

El ángulo de inclinación de los paneles para la instalación sería de 15°.

4.1.4 HSP

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, la irradiación normal directa es de aproximadamente 5000(W/ m2).

$$HSP = \frac{5,000 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 5$$

4.1.5 Cálculo de la demanda energética.

Caso tarifa 1B escalón básico.

En el escalón básico se consume un total de 250 kW bimestrales.

- Consumo promedio diario.

$$C_{diario} = \frac{c_b}{60 \text{ días}} = \frac{250 \text{ kW}}{60} = 4.16 \text{ kW}$$

Se obtiene una potencia de 4.16 kW lo pasamos a Watt simplemente multiplicándolo por 1000, se divide entre la HSP que en este caso es 5.

- Potencia requerida:

$$P_{REQ} = \frac{C_{DIARIO}}{HSP} = \frac{4160 \text{ W}}{5HSP} = 833 \text{ Wp}$$

Caso tarifa 1B escalón intermedio.

En el escalón intermedio se consume 450 kW bimestral.

- Consumo promedio diario.

$$C_{diario} = \frac{c_b}{60 \text{ días}} = \frac{450 \text{ kW}}{60} = 7.5 \text{ kW}$$

Se obtiene una potencia de 7.5 kW lo pasamos a Watt simplemente multiplicándolo por 1000, se divide entre la HSP que en este caso es 5.

- Potencia requerida:

$$P_{REQ} = \frac{C_{DIARIO}}{HSP} = \frac{7500 \text{ W}}{5 \text{ HSP}} = 1500 \text{ Wp}$$

Caso tarifa 1B escalón excedente.

En el escalón excedente se consume un total de 800 kW bimestrales.

- Consumo promedio diario.

$$C_{diario} = \frac{c_b}{60 \text{ dias}} = \frac{800 \text{ kW}}{60} = 13.33 \text{ kW}$$

Se obtiene una potencia de 13.33 kW lo pasamos a Watt simplemente multiplicándolo por 1000, se divide entre la HSP que en este caso es 5.

- Potencia requerida:

$$P_{REQ} = \frac{C_{DIARIO}}{HSP} = \frac{1333.33 \text{ W}}{5 \text{ HSP}} = 2666.6 \text{ Wp}$$

Caso tarifa 1B Domestica Alto Consumo (DAC)

La Tarifa DAC aplica a usuarios con un consumo anual igual o superior a 4,800 kWh, lo que se traduce en un promedio bimestral de 800 kWh y un consumo diario aproximado de 13.33 kWh. Este nivel de consumo corresponde a hogares con una alta demanda energética, lo que conlleva facturas eléctricas elevadas.

Caso de estudio: se calculó a partir del recibo de luz el consumo.

1. Consumo promedio anual: 10,320kW

El consumo anual mínimo para entrar en la tarifa DAC es 4,800 kWh. En el caso del usuario, promedió con 10,320 kWh de consumo anual.

2. Consumo promedio bimestral:

$$\text{Consumo promedio bimestral} = \frac{10,320 \text{ kWh}}{6} = 1720 \text{ kWh/bimestre}$$

3. Consumo promedio diario:

$$\text{Consumo promedio diario} = \frac{1720 \text{ kWh}}{60} = 28.6 \text{ kWh/día}$$

4. Potencia requerida:

$$P_{REQ} = \frac{C_{DIARIO}}{HSP} = \frac{28.6 \text{ W}}{5 \text{ HSP}} = 5,700 \text{ Wp}$$

Tomando en cuenta las pérdidas del 15%, nos da un resultado de 6.5 kW El cliente anticipa que, en el futuro, el consumo eléctrico de su establecimiento podría incrementarse.

Se realizó la instalación de un sistema de 6.6 kW, lo que permite acomodar futuras cargas eléctricas sin tener que modificar la instalación o agregar más paneles, optimizar la inversión inicial, evitando costos adicionales de instalación o modificaciones en el futuro, y prepararse para cambios en hábitos de consumo energético, como el uso de nuevos electrodomésticos, sistemas de climatización, o vehículos eléctricos.

Tabla 16 Tabla de consumo.

Concepto	Valor
Consumo anual promedio	10,320 kWh
Consumo promedio bimestral	1,720 kWh
Consumo promedio diario	28.27 kWh
Potencia requerida sin ajustes	6.5 kWp
Potencia necesaria ajustada	6.6 kWp
HSP (Hora sol pico)	5
Pérdidas estimadas del sistema	15%

4.1.6 Selección de módulos fotovoltaicos.

Caso tarifa 1B escalón básico.

Determinamos la cantidad de módulos fotovoltaicos para el sistema fotovoltaico.

$$N_P = \frac{P_{REQ}}{P_{PANEL}} = \frac{833Wp}{415W} = 2 \text{ Paneles}$$

Para el dimensionamiento fotovoltaico de un consumo básico, se propone el uso de módulos fotovoltaicos de la marca JA SOLAR el modelo JAM54S30-415/LR.

Caso tarifa 1B escalón intermedio.

Determinamos la cantidad de módulos fotovoltaicos para el sistema fotovoltaico.

$$N_P = \frac{P_{REQ}}{P_{PANEL}} = \frac{1500Wp}{530W} = 2.8 = 3 \text{ Paneles}$$

Para el dimensionamiento fotovoltaico de un consumo intermedio, se propone el uso de módulos fotovoltaicos de la marca JA SOLAR el modelo JAM72S30-530/MR

Caso tarifa 1B escalón excedente.

Determinamos la cantidad de módulos fotovoltaicos para el sistema fotovoltaico.

$$N_P = \frac{P_{REQ}}{P_{PANEL}} = \frac{2666.6Wp}{530W} = 5 \text{ Paneles}$$

Para el dimensionamiento fotovoltaico de un consumo excedente, se propone el uso de módulos fotovoltaicos de la marca JA SOLAR el modelo JAM72S30-530/MR

Caso tarifa 1B escalón Domestica Alto Consumo (DAC)

Determinamos la cantidad de módulos fotovoltaicos para el sistema fotovoltaico.

$$N_p = \frac{P_{REQ}}{P_{PANEL}} = \frac{6600Wp}{550W} = 12 \text{ Paneles}$$

Para el dimensionamiento fotovoltaico de un consumo excedente, se propone el uso de módulos fotovoltaicos de la marca JA SOLAR el modelo JA-M72S30-550/MR.

4.1.7 Selección de inversor.

Caso tarifa 1B escalón Domestica Alto Consumo (DAC)

Se utilizo un inversor para el sistema con la capacidad de 6900W.

- **Tipo:** Conectado a la red.
- **Eficiencia:** Su máxima eficiencia es de 98.1%.

Comunicaciones: Permite la monitorización y control del sistema de manera remota.

El inversor seleccionado cuenta con dos números de MPPT y con una cadena de MPPT por lo que conectamos los 12 paneles en serie y conectarlo en el único string que se encuentra en el inversor.

4.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA.

Las etapas de una instalación fotovoltaica son fundamentales para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y segura. A continuación, se detallan las principales etapas en el proceso de instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red:

1. Preparación del Sitio:

- **Limpieza:** Se limpia a fondo el área donde se instalarán los paneles, eliminando cualquier obstáculo como hojas, ramas o suciedad que pueda afectar la producción de energía.

- Verificación de la estructura: Se inspecciona la estructura del techo o soporte donde se colocarán los paneles para asegurar su solidez y capacidad de carga.
- Marcado: Se marcan los puntos exactos donde se fijarán los paneles y los soportes, asegurando la correcta orientación e inclinación.



Figura 51 Preparación del sitio.

2. Montaje de la Estructura:

- Instalación de soportes: Se instalan las estructuras de montaje sobre el techo, de acuerdo con el diseño previamente elaborado.



Figura 52 Instalación de soportes.

- Nivelación: Se verifica que la estructura esté perfectamente nivelada para asegurar la correcta inclinación de los paneles.
- Fijación: Se fijan los soportes a la estructura del edificio mediante pernos, tornillos y/o anclajes adecuados.



Figura 53 Fijación.

3. Instalación de los Paneles Solares:

- Conexión de los paneles: Se conectan los paneles solares entre sí en serie de acuerdo con el diseño del sistema.



Figura 54 Conexión de los paneles.

- Fijación a la estructura: Se fijan los paneles a la estructura de montaje mediante los sistemas de sujeción correspondientes.
- Verificación de las conexiones: Se verifica que todas las conexiones entre los paneles estén bien apretadas y sin daños.



Figura 55 Instalación de los paneles solares.

4. Cableado:

Se realizó el cálculo del calibre del cableado del sistema fotovoltaico para garantizar la seguridad y eficiencia en la transmisión de la energía generada por los paneles solares hacia el inversor y la red eléctrica. Este cálculo consideró factores como la corriente máxima esperada, la distancia entre los componentes, y las pérdidas resistivas que podrían afectar el rendimiento del sistema. El uso de un calibre adecuado minimiza la caída de voltaje, asegura la integridad del sistema ante sobrecargas y garantiza una operación óptima y confiable a largo plazo.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\delta \cdot \Delta V} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 14.07}{56 \cdot 5.0352} = 4.9 \text{ mm}^2$$

Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente ¹ (A)					
						Canalización ²			Al aire libre ¹		
						60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
14	2.08	19	0.76	3.4	3	15	20	25	-	-	-
12	3.31	19	0.76	3.9	5	20	25	30	-	-	-
10	5.26	19	0.76	4.5	7	30	35	40	-	-	-
8	8.37	19	1.14	5.9	11	40	50	55	-	-	-
6	13.3	19	1.52	7.6	17	55	65	75	-	-	-
4	21.2	19	1.52	8.8	25	70	85	95	105	125	140
2	33.6	19	1.52	10.3	38	95	115	130	140	170	190
1/0	53.5	19	2.03	13.2	60	125	150	170	195	230	260
2/0	67.4	19	2.03	14.3	74	145	175	195	225	265	300
3/0	85	19	2.03	15.6	91	165	200	225	260	310	350
4/0	107	19	2.03	17	113	195	230	260	300	360	405
250	127	37	2.41	19	135	215	255	290	340	405	455
300	152	37	2.41	20.3	159	240	285	320	375	445	500
350	177	37	2.41	21.6	182	260	310	350	420	505	570
400	203	37	2.41	22.7	208	280	335	380	455	545	615
500	253	37	2.41	24.8	255	320	380	430	515	620	700
600	304	61	2.79	27.6	307	350	420	475	575	690	780
750	380	61	2.79	30.2	384	400	475	535	655	785	885
1000	507	61	2.79	34	504	455	545	615	780	935	1055

Tabla 17 Equivalencia de tamaño de cable.

Se seleccionó el cable calibre #10 AWG, ya que es la más cercana al valor que nos dio en nuestro cálculo.

- Instalación de los cables: Se instalan los cables desde los paneles solares hasta la caja de combinadores y el inversor, siguiendo la ruta establecida en el diseño.
- Protección de los cables: Se protegen los cables contra la intemperie y posibles daños mecánicos mediante conductos o canalizaciones.
- Conexión a la caja de combinadores: Se conectan los cables de los paneles solares a la caja de combinadores, que agrupa las cadenas de paneles

5. Conexión del Inversor:

- Ubicación del inversor: Se instala el inversor en un lugar seco y ventilado, cerca del punto de conexión a la red eléctrica.
- Conexión de los cables: Se conectan los cables de la caja de combinadores al inversor, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Configuración del inversor: Se configura el inversor según las especificaciones del sistema y las necesidades del usuario.



Figura 56 Inversor central.

6. Conexión a la Red Eléctrica:

- Conexión a la caja general de protección: Se conecta el inversor a la caja general de protección de la instalación eléctrica.
- Instalación del medidor bidireccional: Se instala un medidor bidireccional para registrar la energía generada y consumida.
- Conexión a tierra: Se realiza una conexión a tierra adecuada para garantizar la seguridad del sistema.



Figura 57 Conexión a la red eléctrica.

7. Pruebas y Puesta en Marcha:

- Pruebas de funcionamiento: Se realizan pruebas para verificar que todos los componentes del sistema funcionan correctamente.

- Verificación de la producción: Se verifica que la producción de energía sea la esperada.
- Ajustes finales: Se realizan los ajustes finales necesarios para optimizar el rendimiento del sistema.

Este proceso garantiza que la instalación del sistema fotovoltaico sea segura, eficiente y maximice los beneficios económicos y energéticos para el usuario

4.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA.

El inversor conectado a la red cuenta con una interfaz de comunicación, que a través de Wi-Fi, LAN o datos móviles, transmite continuamente los datos de rendimiento del sistema a una plataforma. Esta plataforma facilita el seguimiento y control de diferentes parámetros como la producción de energía solar, el estado del sistema, la eficiencia de los paneles, las condiciones de los MPPTs (seguimiento del punto de máxima potencia), y posibles alertas o fallas.

En la figura 58, se presenta una captura de pantalla de la plataforma de monitoreo del inversor Growatt. Como se puede apreciar en la parte izquierda se presenta el comportamiento de la potencia diaria, la cual para el día específico fue de 25.1kW. En la parte derecha también se observa la potencia diaria, la acumulada total, así como el ahorro en pesos diario y el acumulado total.

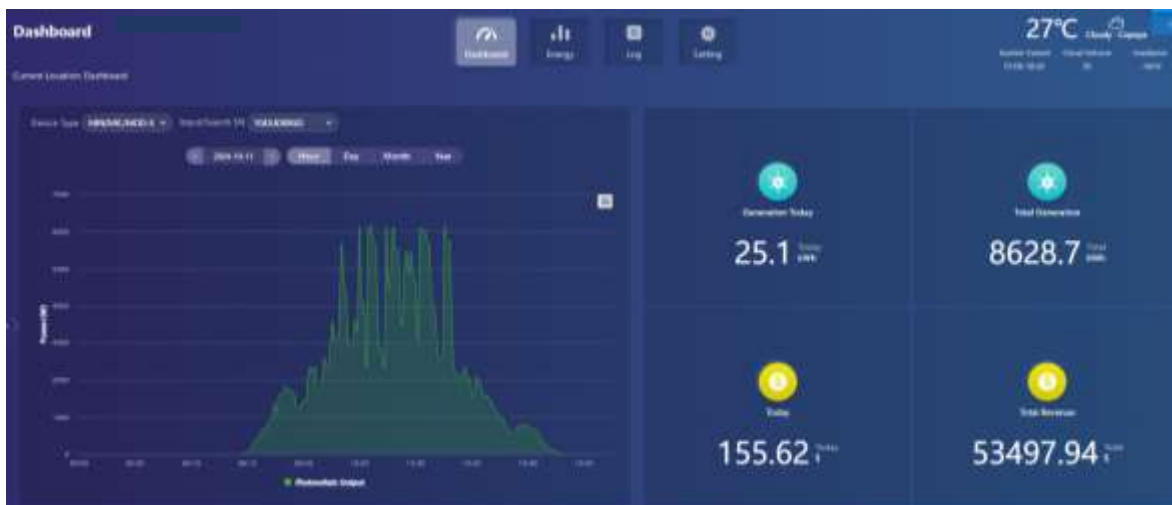


Figura 58 Plataforma de monitoreo “GROWATT”.

De esta manera, el monitoreo remoto del inversor permite tener un control total del sistema fotovoltaico. La eficiencia del sistema fotovoltaico depende en gran medida de las condiciones climáticas, ya que la cantidad de energía solar captada por los paneles varía significativamente entre días soleados y nublados. En este análisis, evaluamos el rendimiento del sistema fotovoltaico durante el mes de agosto, específicamente comparando su producción en días soleados y nublados.

Durante un día típico soleado en agosto, el sistema fotovoltaico alcanzó una producción de 39 kWh, lo que representa su máximo potencial en condiciones óptimas de irradiación solar. Este rendimiento es consistente con las expectativas de diseño, considerando que los paneles solares funcionan de manera más eficiente cuando la radiación solar directa es abundante y las pérdidas por sombras o temperatura son mínimas. Este valor también refleja la capacidad del sistema para aprovechar al máximo las horas pico de sol, generalmente alrededor del mediodía, cuando la inclinación del sol es más favorable.

Sin embargo, en días nublados, el sistema experimentó una caída considerable en su producción energética, generando solo 21 kWh. Esta disminución de alrededor del 46% con respecto a un día soleado. Aunque el sistema sigue siendo capaz de producir energía en días nublados, su eficiencia se ve significativamente reducida debido a la menor cantidad de luz solar disponible.

En la figura 59 se presenta una captura de pantalla de la plataforma de monitoreo del inversor Growatt, donde muestra la producción diaria de energía generada por el sistema fotovoltaico durante el mes de agosto en kW/h. En esta gráfica, se pueden observar las variaciones en la generación de energía para cada día del mes, se destaca que los días con mayor radiación solar presentan picos más altos en la producción de energía, mientras que los días nublados o con condiciones meteorológicas menos favorables registran una menor generación de electricidad. Este patrón de variabilidad es típico en sistemas fotovoltaicos, ya que dependen directamente de la luz solar para generar energía

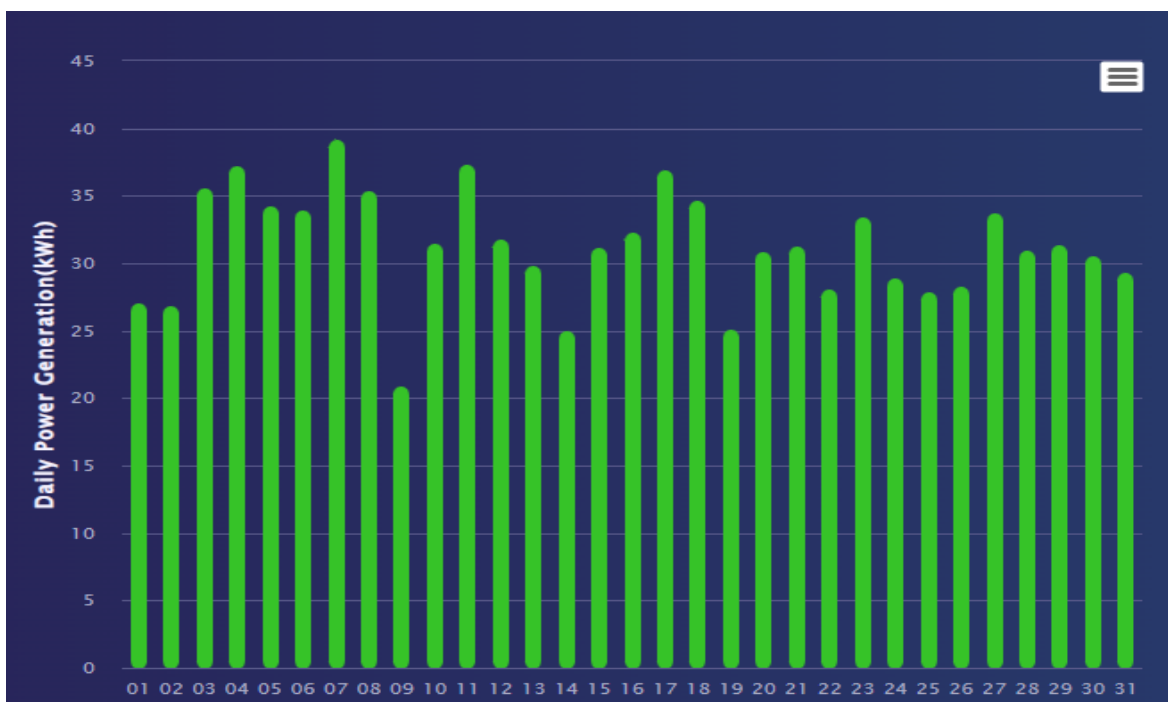


Figura 59 Producción de energía diaria en kW/h del mes de agosto.

En un análisis y comparación de producción de energía estimada y real, se hicieron los siguientes cálculos:

Para saber la producción de energía estimada, se multiplica la potencia del panel solar por las horas sol pico, después, se multiplica por la cantidad de paneles que se tiene en el sistema fotovoltaico, de ahí, se hace la multiplicación por los días que

tiene un mes. Posteriormente, lo dividimos entre 1000 para obtener el resultado de producción de energía estimada en kWh.

$$\frac{550W * 5h * 12 \text{ paneles} * 30 \text{ días}}{1000} = 990 \text{ kWh}$$

El resultado obtenido de la producción de energía estimada del mes de agosto es de 990 kWh, mientras que en la producción real que se registró fue de 972.5kWh.

En la figura 60 se presenta una captura de pantalla de la plataforma de monitoreo del inversor Growatt, donde se ve la producción mensual de energía generada por el sistema fotovoltaico a lo largo del año 2024, medida en kWh. En la gráfica, se destaca el mes de agosto donde su producción real fue de 972.5 kWh.

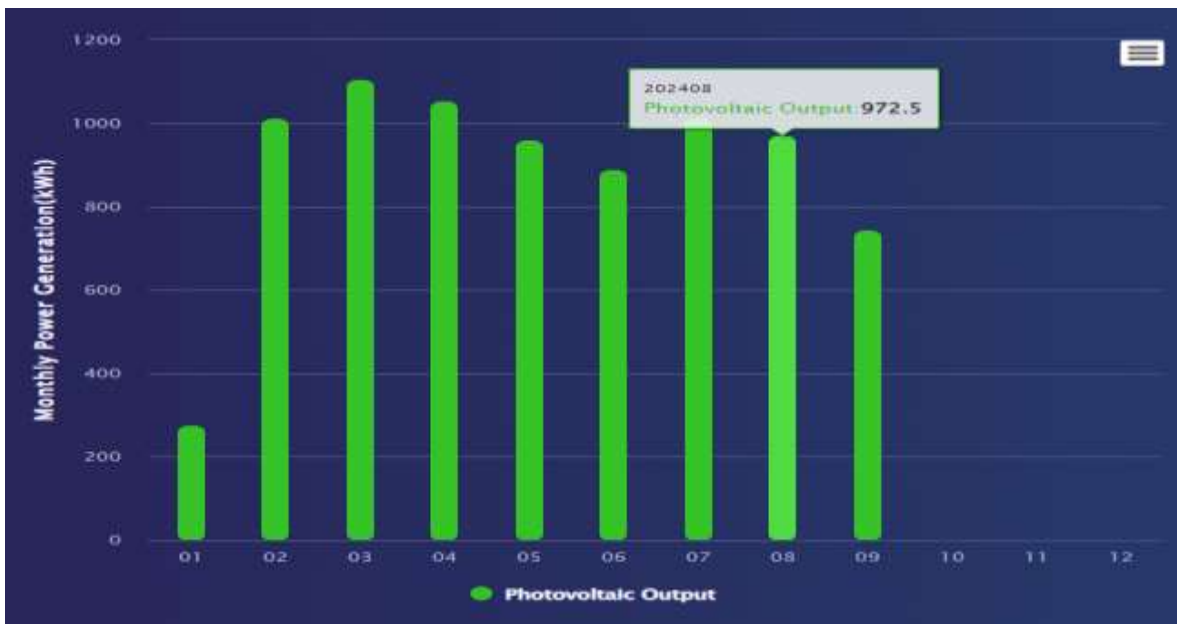


Figura 60 Producción de energía generada mensual en kW/h del 2024.

La potencia estimada suele ser superior a la potencia real debido a una serie de factores que afectan el rendimiento de los paneles solares, puede explicarse por una combinación de pérdidas por temperatura, variaciones en la irradiación solar, sombras parciales, suciedad y polvo en los paneles. Estos factores hacen que el

sistema fotovoltaico pueda producir menos energía de lo que se había previsto inicialmente en los cálculos.

Hasta el mes de septiembre, el sistema fotovoltaico instalado ha generado un total de 8035.9 kWh, lo que cubre con creces las necesidades actuales del cliente y le permite mantener un balance energético positivo. Estos resultados demuestran no solo la efectividad técnica del sistema, sino también el impacto económico tangible que tiene para los usuarios que optan por esta tecnología en un contexto de altos costos energéticos. La instalación del sistema fotovoltaico interconectado a la red ha sido una solución eficiente y sostenible para el cliente, asegurando ahorros significativos en el corto y largo plazo.

El primer mes se obtuvo un consumo bajo debido a que la instalación fotovoltaica se instaló a finales de enero y lo registrado en la plataforma fue de solo 8 días.

Tabla 18 Valor promedio mensual.

MESES	CONSUMO PROMEDIO (KWH/DÍA)
Enero	
Febrero	1014.7
Marzo	1107.7
Abril	1055.5
Mayo	960.4
Junio	889.5
Julio	1015.6
Agosto	972.5
Septiembre	866.1
Octubre	-
Noviembre	-
Diciembre	-
Valor Promedio Mensual estimado	985.25

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

4.4.1 Caso tarifa 1B escalón básico

Se obtuvo que para el escalón básico se necesita 833 WP, lo multiplicamos por el costo mínimo del mercado instalado por Wp.

$$833Wp * 0.8 USD = 666.5 * 20 MXN = \$13328.$$

Para un costo máximo por Wp instalado de 1.2 USD que se encuentra en el mercado, se obtiene el siguiente resultado:

$$833Wp * 1.2 USD = 999.6 * 20 MXN = \$19992.$$

Periodo de recuperación de inversión.

Precio de consumo bimestral antes del sistema fotovoltaico: \$270

Ahorro anual \$1320.

El Período de Retorno Simple se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujos de cajas anuales netos}}$$

- Periodo de retorno del precio mínimo.

$$\frac{\$13328}{\$1320} = 10 \text{ años}$$

- Periodo de retorno del precio máximo

$$\frac{\$19,992}{\$1320} = 15.1 \text{ años}$$

Se realizó una gráfica de doble línea donde se hace una proyección de retorno de inversión progresivamente dentro de 20 años. Tomando en cuenta el precio mínimo y máximo que se encuentran en el mercado de WP instalado.

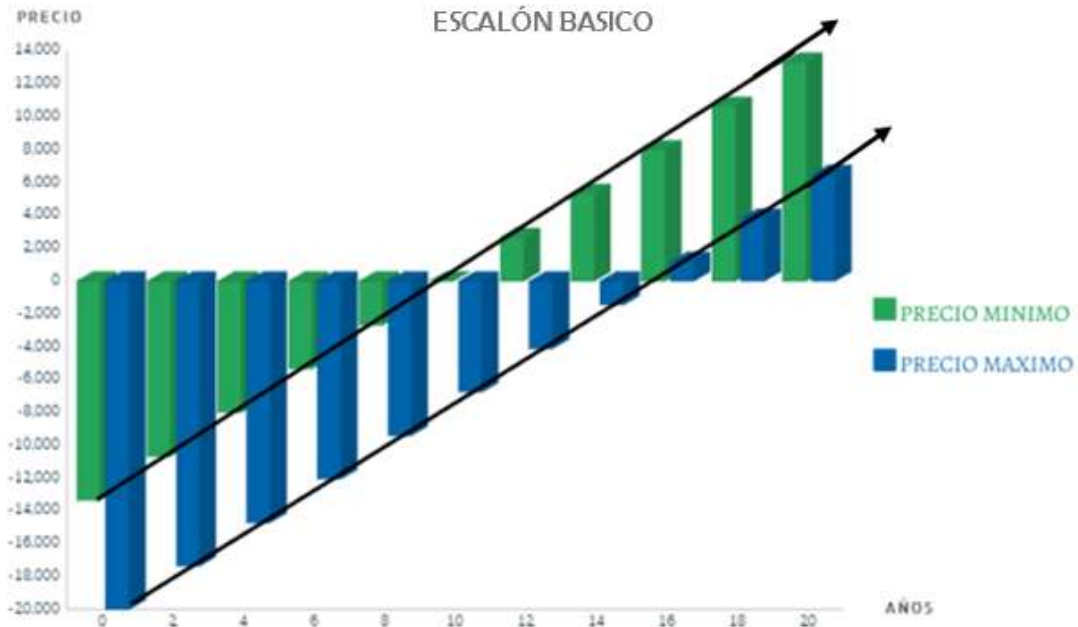


Figura 61 Retorno de inversión del escalón básico.

4.4.2 Caso tarifa 1B escalón intermedio.

Se obtuvo que para el escalón intermedio se necesita 1500 WP, lo multiplicamos por el costo mínimo del mercado instalado por Wp.

$$1500W_p * 0.8 \text{ USD} = 1200 * 20 \text{ MXN} = \$24000.$$

Para un costo máximo por Wp instalado de 1.2 USD que se encuentra en el mercado, se obtiene el siguiente resultado:

$$1500W_p * 1.2 \text{ USD} = 1800 * 20 \text{ MXN} = \$36000.$$

Periodo de recuperación de inversión.

- Precio de consumo bimestral antes del sistema fotovoltaico: \$471
- Ahorro anual \$2828

El Período de Retorno Simple se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujos de cajas anuales netos}}$$

Periodo de retorno del precio mínimo.

$$\frac{\$24,000}{\$2828} = 8.4 \text{ años}$$

Periodo de retorno del precio máximo.

$$\frac{\$36,000}{\$2828} = 12.7 \text{ años}$$

Se realizó una gráfica de doble línea donde se hace una proyección de retorno de inversión progresivamente dentro de 20 años. Tomando en cuenta el precio mínimo y máximo que se encuentran en el mercado de WP instalado

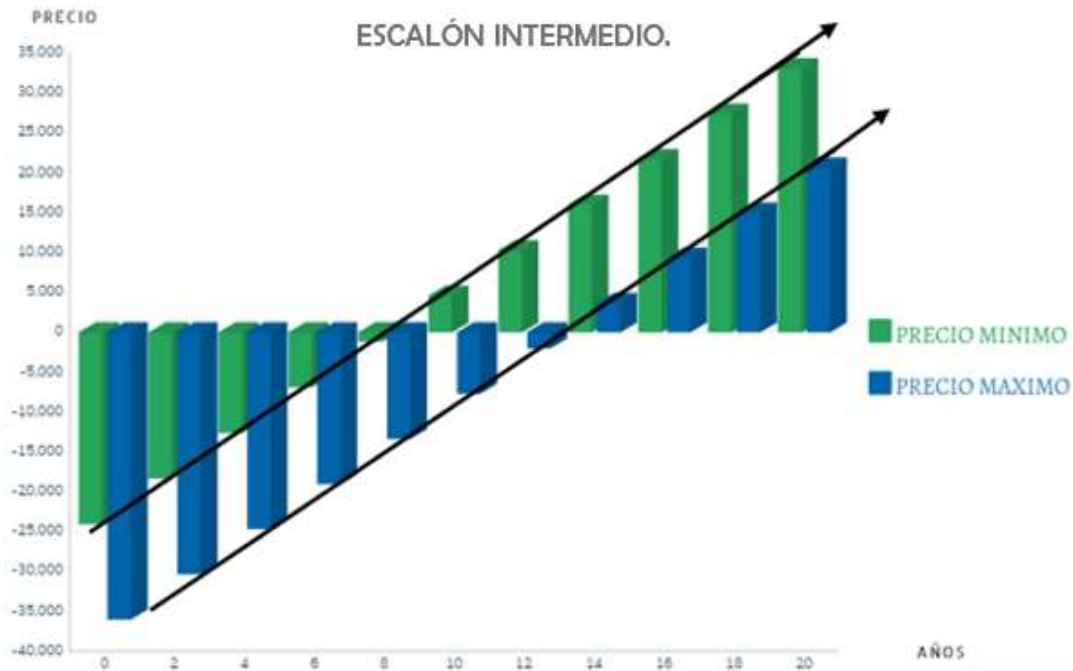


Figura 62 Retorno de inversión del escalón intermedio.

4.4.3 Caso tarifa 1B escalón excedente.

Se obtuvo que para el escalón excedente se necesita 2666.6 WP, lo multiplicamos por el costo mínimo del mercado instalado por Wp.

$$2666.6Wp * 0.8 USD = 2133 * 20 MXN = \$42665.$$

Para un costo máximo por Wp instalado de 1.2 USD que se encuentra en el mercado, se obtiene el siguiente resultado:

$$2666.6Wp * 1.2 USD = 3199 * 20 MXN = \$63998.$$

Periodo de recuperación de inversión.

- Precio de consumo mensual antes del sistema fotovoltaico: \$1982
- Ahorro anual \$11,895

El Período de Retorno Simple se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujos de cajas anuales netos}}$$

Periodo de retorno del precio mínimo

$$\frac{\$42665}{\$11895} = 3.5 \text{ años}$$

Periodo de retorno del precio máximo

$$\frac{\$63998}{\$11895} = 5.3 \text{ años}$$

Se realizó una gráfica de doble línea donde se hace una proyección de retorno de inversión progresivamente dentro de 20 años. Tomando en cuenta el precio mínimo y máximo que se encuentran en el mercado de WP instalado

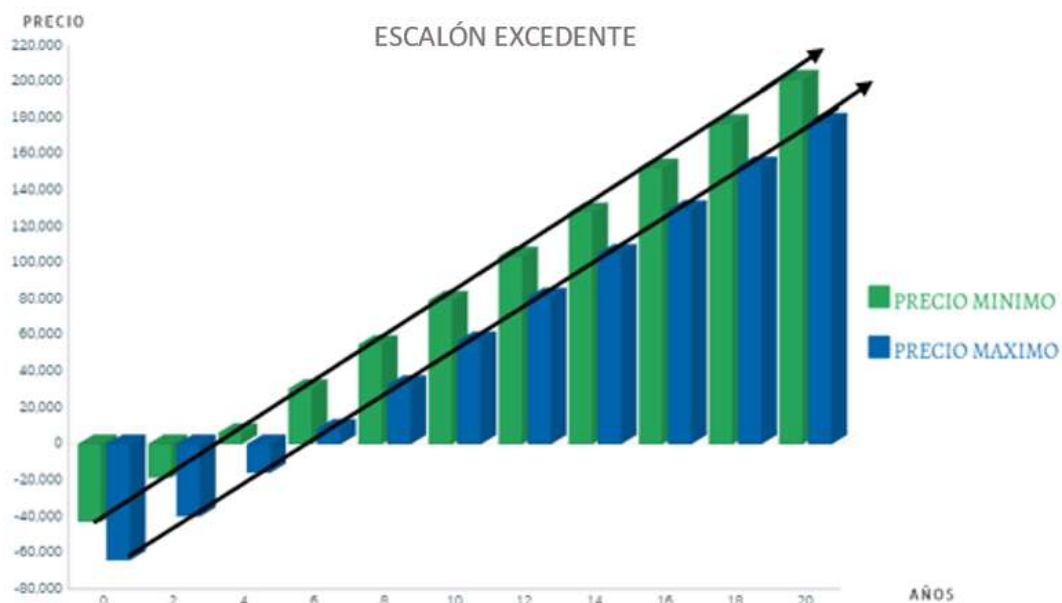


Figura 63 Retorno de inversión del escalón excedente.

4.4.4 Caso tarifa Doméstica Alto Consumo (DAC)

Para el escalón Doméstica Alto Consumo (DAC) para 801 kW/h consumo promedio anual, se necesita 2670 Wp, lo multiplicamos por el costo mínimo del mercado instalado por Wp.

$$2670Wp * 0.8 USD = 2136 * 20 MXN = \$42,720.$$

Para un costo máximo por Wp instalado de 1.2 USD que se encuentra en el mercado, se obtiene el siguiente resultado:

$$2670Wp * 1.2 USD = 3204 * 20 MXN = \$64,080.$$

Periodo de recuperación de inversión.

- Precio de consumo bimestral antes del sistema fotovoltaico: \$7566
- Cargo fijo x mes: 134.94
- Ahorro Anual \$45,396.

El Período de Retorno Simple se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujos de cajas anuales netos}}$$

Periodo de retorno del precio mínimo.

$$\frac{\$42,720}{\$45,396} = 0.9 \text{ años}$$

Periodo de retorno del precio máximo.

$$\frac{\$64,080}{\$45,396} = 1.4 \text{ años}$$

Se realizó una gráfica de doble línea donde se hace una proyección de retorno de inversión progresivamente dentro de 20 años. Tomando en cuenta el precio mínimo y máximo que se encuentran en el mercado de WP instalado



Figura 64 Retorno de inversión de la tarifa DAC.

Para el caso de estudio que se encuentra en el escalón DAC se necesita 6600 Wp. El costo de este sistema fotovoltaico fue de 1 USD por Wp instalado, se obtiene el siguiente resultado:

$$6600Wp * 1.0 USD = 6600 * 20 MXN = \$132,000 MXN.$$

Periodo de recuperación de inversión.

- Precio de consumo bimestral antes del sistema fotovoltaico: \$10,844.
- Cargo fijo x mes: 134.94
- Ahorro Anual \$65,064.

El Período de Retorno Simple se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujos de cajas anuales netos}}$$

Periodo de retorno.

$$\frac{\$132,000}{\$65,064} = 2 \text{ años}$$

En la figura 65 muestra el análisis detallado del tiempo necesario para recuperar la inversión inicial realizada en el sistema fotovoltaico conectado a la red del usuario en tarifa DAC.

Demuestra claramente que el periodo de retorno de la inversión es corto, debido al alto consumo previo del usuario en tarifa DAC y los significativos ahorros alcanzados tras la instalación del sistema fotovoltaico.

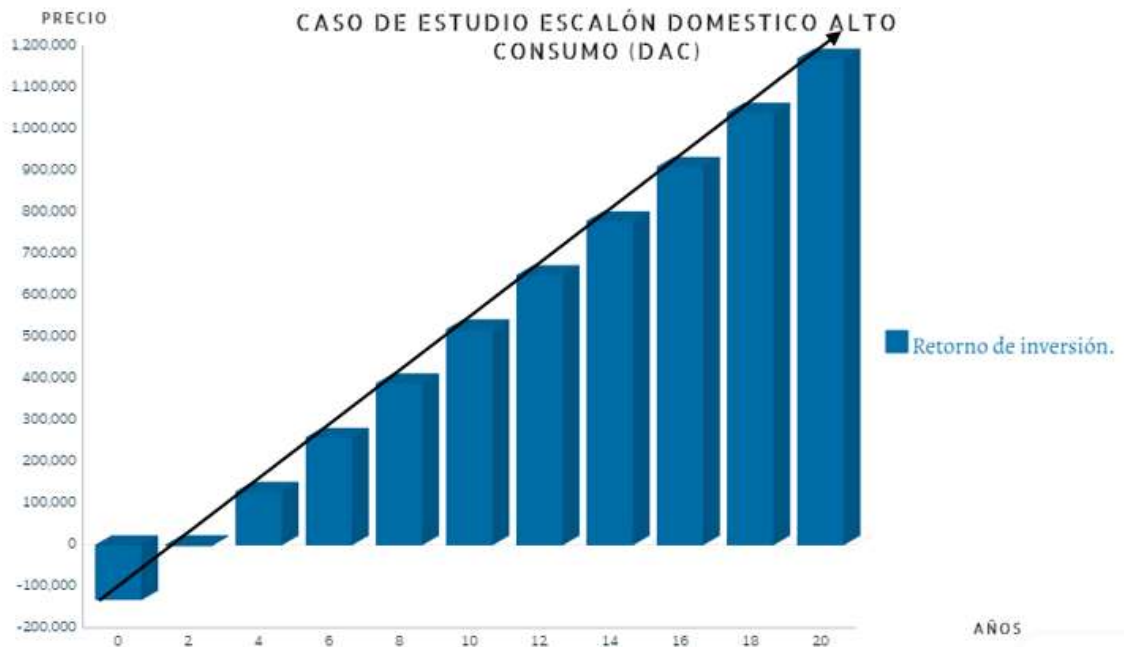


Figura 65 Retorno de inversión del caso de usuario.

Este análisis demuestra con la figura 66 el análisis del periodo de recuperación de inversión en sistemas fotovoltaicos para diferentes escalones tarifarios: Básico, Intermedio, Excedente y DAC. La figura presenta los tiempos de recuperación en función de los precios mínimos y máximos para cada uno de estos esquemas tarifarios.

Para el escalón Básico, se observa que el periodo de recuperación es el más largo, fluctuando entre 10 y 15 años, debido al menor consumo de energía y las tarifas más bajas, lo que retrasa el retorno de la inversión.

En el escalón Intermedio, el periodo de recuperación se reduce, situándose entre 8 y 12 años, lo que refleja un consumo ligeramente mayor y un impacto tarifario más significativo que el escalón Básico.

El escalón Excedente muestra una recuperación de la inversión más rápida, entre 3 y 5 años, ya que el consumo de energía es considerablemente mayor y las tarifas más altas generan un retorno más inmediato de la inversión.

Finalmente, en la tarifa DAC (Doméstica de Alto Consumo), el periodo de recuperación es el más corto, entre 1 y 2 años, debido al elevado costo por kWh en esta categoría, lo que hace que la instalación de un sistema fotovoltaico sea altamente rentable en poco tiempo.

La figura resalta que, a mayor consumo de energía y tarifas más altas, más rápida es la recuperación de la inversión, siendo la tarifa DAC la opción más ventajosa en términos de retorno económico para la instalación de un sistema fotovoltaico.

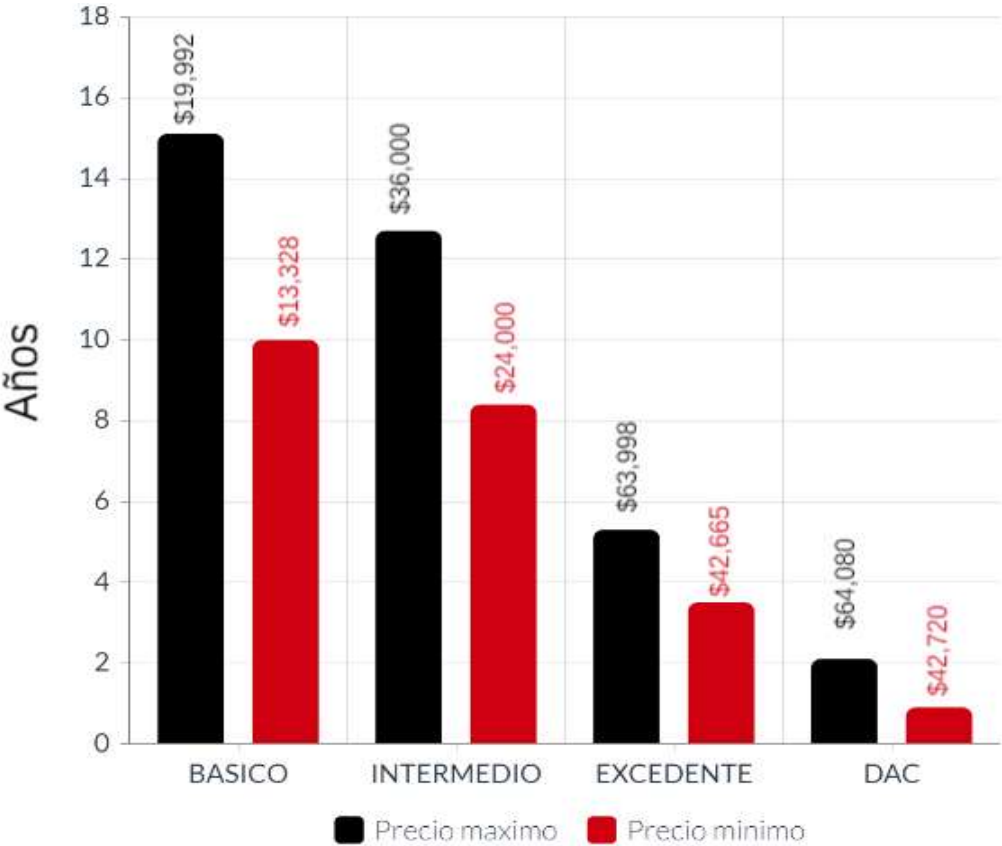


Figura 66 Periodo de recuperación de inversión para cada escalón con precio mínimo y máximo.

El caso de estudio del cliente, quien se encontraba bajo la tarifa Doméstico de Alto Consumo (DAC), presenta una clara necesidad de optimización energética debido

a los elevados costos derivados de un consumo promedio de 1,720 kWh por bimestre, el cliente pagaba un promedio de \$10,844 bimestrales a Comisión Federal de Electricidad (CFE), lo cual representaba una carga financiera elevada y difícil de sostener a largo plazo. Ante esta realidad, el cliente optó por la instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para reducir su dependencia de la energía proveniente de la red eléctrica y, por ende, disminuir considerablemente el costo de su factura bimestral.

Para atender las necesidades presentes y futuras del cliente, El sistema instalado tiene una capacidad de 6,600 Wp, lo cual fue sobredimensionado para cubrir las futuras necesidades energéticas del cliente, quien planea incrementar su consumo en los próximos años. El costo total de la instalación fue de \$132,000, incluyendo los paneles solares, el inversor, la estructura de soporte y los componentes eléctricos necesarios para la conexión a la red.

En la figura 67 se muestra los datos obtenidos a través de la plataforma de monitoreo del inversor indican que, durante los primeros 10 meses de operación, el sistema ha generado un ahorro total de \$53,705.64. Este resultado refleja el impacto positivo que ha tenido la instalación del sistema en las finanzas del usuario, eliminando prácticamente los altos costos que anteriormente se pagaban por el consumo de energía de la red eléctrica.



Figura 67 Impacto económico mostrado en la PLATAFORMA.

Para contextualizar este ahorro, si comparamos con lo que el usuario hubiera pagado sin el sistema fotovoltaico, es evidente que la inversión en tecnología solar ha resultado altamente beneficiosa. En términos mensuales, el ahorro promedio ha sido de \$5,370.56, lo que sugiere que el sistema está desempeñándose de manera eficiente y de acuerdo con las expectativas proyectadas durante el diseño inicial.

Desde la instalación del sistema, el cliente ha experimentado una reducción drástica en sus costos energéticos.

En la figura 68 se muestra que actualmente, su única obligación financiera del usuario con CFE es el pago de \$50 bimestrales, correspondiente al cargo fijo por la renta de la línea eléctrica, lo que refleja el impacto positivo inmediato de la implementación del sistema fotovoltaico.

Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista					Desglose del importe a pagar	
Concepto	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (MXN)	Concepto	Importe (MXN)
Suministro	0.00	0.00	0.00	0.00	Energía	46.35
Distribución	0.00	0.00	0.00	0.00	IVA 16%	7.42
Transmisión	0.00	0.00	0.00	0.00	Total	53.77
CENAGE	0.00	0.00	0.00	0.00		
Energía	0.00	0.00	0.00	0.00		
Capacidad	0.00	0.00	0.00	0.00		
SCoMEM(1)	0.00	0.00	0.00	0.00		

Figura 68 Recibo actual del usuario.

El periodo de recuperación de la inversión es uno de los aspectos más relevantes en el análisis económico de los sistemas fotovoltaicos. En este caso, con un ahorro mensual promedio significativo, el periodo de retorno de la inversión se proyecta en 2 años máximo. Esta brevedad en el retorno de la inversión subraya la conveniencia de instalar un sistema fotovoltaico para usuarios ubicados en la tarifa DAC, quienes enfrentan los costos más elevados por su consumo de energía. Con base en estos resultados, la inversión se ha demostrado altamente rentable para el cliente, quien no solo ha eliminado prácticamente su factura de electricidad, sino que también ha asegurado un suministro energético confiable para sus planes de expansión a futuro.

4.5 ANÁLISIS AMBIENTAL

El sistema fotovoltaico interconectado a la red analizado en este proyecto, ha demostrado ser una solución efectiva no solo desde el punto de vista económico, sino también desde una perspectiva ambiental.

En la figura 69 se muestra una captura del inversor de la contribución social del sistema fotovoltaico. La reducción de 8636.2 kg de CO₂, el ahorro equivalente a 476 árboles plantados y la eliminación del uso de 3464.9 kg de carbón en solo 10 meses subraya el impacto positivo de este tipo de sistemas en la transición hacia un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.



Figura 69 Contribución social del Sistema Fotovoltaico.

En el contexto actual, donde la lucha contra el cambio climático y la protección de los ecosistemas es una prioridad global, la adopción de energías renovables, como la solar, juega un papel crucial. Estos datos reflejan que el uso de la energía fotovoltaica no solo beneficia económicamente al usuario, sino que también contribuye de manera significativa a la reducción de la huella ecológica y a la preservación del medio ambiente para las futuras generaciones.

CONCLUSIÓN

1. Se realizó un análisis de los diferentes escalones tarifario residencial 1B en Tuxtla Gutiérrez, esto permitió determinar en qué escalón tarifario es conveniente la instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red, y a partir de ello, diseñar un sistema acorde al consumo energético del usuario. Tras un análisis exhaustivo de las tarifas domésticas, que incluyen las tarifas básicas, intermedias, Excedente y DAC, se determinó que las tarifas Excedente y DAC son las más convenientes para beneficiarse de un sistema fotovoltaico. Estas tarifas aplican a

aquellos usuarios con consumos energéticos elevados, donde el costo de la electricidad es considerablemente más alto en comparación con las tarifas inferiores.

2. El objetivo de diseñar un sistema fotovoltaico adecuado para un caso específico en tarifa DAC ha sido plenamente alcanzado. A través del análisis detallado del consumo energético, los costos asociados y las características del usuario, se diseñó un sistema fotovoltaico de capacidad suficiente para cubrir las necesidades energéticas actuales, con un margen para futuras ampliaciones. Este diseño responde a la demanda elevada de la tarifa DAC, que representa un gran impacto económico para el usuario. Con este diseño, se ha logrado una notable reducción en los costos de electricidad, pasando de pagar \$10,844 bimestrales a únicamente \$50 por concepto de la renta de la línea en CFE, lo que demuestra la efectividad del sistema en el corto y largo plazo.

3. Se instaló un sistema fotovoltaico para un caso específico tarifa DAC para un usuario cuyo consumo promedio diario es de 28.27 kW/h, resultando en un sistema FV de 6600Wp instalado, con 12 módulos solares de 550W y un inversor Growatt con capacidad de 6900W.

El usuario al ser tarifa DAC experimentará un aumento en los beneficios económicos, dado que, tras la recuperación de la inversión inicial, toda la energía producida por el sistema será esencialmente gratuita. Además, el costo de la electricidad de la red probablemente aumentará con el tiempo, lo que significa que los ahorros anuales podrían incrementarse proporcionalmente en los años posteriores. Por lo tanto, el sistema no solo ofrece un retorno económico sólido en el mediano plazo, sino que también protege al usuario contra posibles incrementos futuros en las tarifas eléctricas.

4. El objetivo de evaluar la energía producida por el sistema fotovoltaico ha sido plenamente cumplido a lo largo de este estudio. A través de la evaluación del sistema detallado de los datos de generación mensual y diaria, se ha logrado un

entendimiento profundo del comportamiento del sistema bajo diversas condiciones climáticas y estacionales.

Los datos recogidos confirman que el sistema fotovoltaico ha operado dentro de los parámetros esperados, alcanzando altos niveles de eficiencia durante los periodos de mayor radiación solar, y una producción moderada en días nublados o con menor exposición solar. Estos resultados proporcionan una visión clara sobre el rendimiento del sistema, validando la inversión en tecnología solar como una opción eficiente para la generación de energía limpia y sostenible.

REFERENCIAS.

[1] *Evolución de la energía solar: Pasado, presente y futuro.* (s.f.). Avatar Energía, blog de Energías Renovables. <https://avatarenergia.com/evolucion-de-la-energia-solar/>

[2] *Historia de las células solares y su evolución tecnológica.* (s.f.). Grupo JAB. <https://www.grupojab.es/info/historia-de-las-celulas-solares-y-su-evolucion-tecnologica/>

[3] J. P. Dunlop, *Photovoltaic Systems.* American Technical Publishers, Inc., 2012.

[4] Suncore6Jr. (2018, 27 de noviembre). *Historia de los paneles solares y energía fotovoltaica | suncore.* Suncore. <https://suncore.com.mx/paneles-solares/historia-de-los-paneles-solares/>

[5] AUTREN, "Identificación y selección de oportunidades de negocio con insumo de energía renovable fotovoltaica en México y su proyección hasta el año 2020," 2016.

[6] Comisión Reguladora de Energía., "Resolución por la que se aprueba el modelo de contrato de interconexión para fuente de energía solar en Pequeña Escala."

[7] J. C. Hernández and A. Medina, "Conexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica: calidad de suministro," *Sumuntán*, vol. 23, pp. 33–44, 2006.

[8] Jihad Ahmed, M. (2014). *Cálculo y diseño de una instalación fotovoltaica, situada en el polígono riu clar de tarragona.*

[9] (s.f.). GREENLUX. <https://www.greenlux.com.mx/paneles-solares-monterrey/tarifas-cfe-para-casa-negocio-y-sus-costos-2/>

[10] Gorrosino Garcia, M. E. (2014). *Implementación de un sistema fotovoltaico interconectado de 40.77kwp; papas selectas/río fuerte, SA de CV. monterrey, nuevo león. SFVI-FIRCO* [Tesis de grado de maestro inédita].

[11] (s.f.). CFE. <https://www.cfe.mx/hogar/infcliente/Documents/contratacionconinterconexion.pdf>

[12] Solis Orvañanos, A. (2023). *"Diseño de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación del edificio 1FCE5 de la Facultad de Ciencias de la Electronica de la Buap, utilizando el metodo de watt-hora consumidos"* [Tesis de licenciatura, Benemerita Universidad Autonoma de Puebla]. <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/699dad5e-9bae-444b-a25e-de1ee9749eb4/content>

[13] (s.f.). Repsol. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml>

-
- [14] (s.f.). <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>
- [15] *Energía solar en México: Su potencial y aprovechamiento*. (s.f.). CIEP. <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>
- [16] *irradiancia en fotovoltaica aprende facil*. (s.f.). Tecnología Facill: Electricidad, Electronica, Informatica, etc. https://www.areatecnologia.com/electricidad/irradiancia-irradiacion.html#google_vignette
- [17] *Horas de sol pico ¿Qué es y para qué sirve?* - HelioEsfera. (s.f.). HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/horas-de-sol-pico-que-es-y-para-que-sirve/>
- [18] (2024). Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- [19] *Qué es el efecto fotovoltaico y cómo se consigue* - Blog de energía solar. (s.f.). Blog de energía solar. <https://solarplak.es/energia/que-es-el-efecto-fotovoltaico-y-como-se-consigue/>
- [20] Jimenez Jimenez, J. A. (2023). *Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para aires acondicionados en cecyte chiapas plantel 34* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- [21] *Los 3 principales sistemas fotovoltaicos: Tipos y características*. (s.f.). KPN Energy. <https://kpnenergy.com/sistemas-fotovoltaicos-tipos/>
- [22] (s.f.). <https://iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
- [23] *Módulo fotovoltaico*. (s.f.). Enel Green Power, the platform dedicated to renewables | Enel Green Power. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>.
- [24] Buele Avila, C. O. (2019). *Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red electrica en la universidad politecnica salesiana sede cuenca*.
- [25] Ramiro Carmona, C. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en iluminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco* [Tesis de licenciatura inédita].
- [26] Garcia Hernandez, M. (2022). Efecto de las sombras en la produccion de energia de modulos fotovoltaicos [Tesis, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. Repositorio.
- [27] *Sobre la inclinación de los paneles solares | Energía Solar fotovoltaica*. (s.f.). Energía Solar fotovoltaica. <https://energiasolares.mx/que-deben-saber-sobre-la-inclinacion-de-los-paneles-solares/>
- [28] *¿CÓMO ORIENTO LAS PLACAS SOLARES?* - Cambio Energético. (s.f.). Cambio Energético. <https://www.cambioenergetico.com/blog/como-oriento-las-placas-solares/>

[29] *Inspección de pruebas de corriente de circuito de cadena para sistemas solares fotovoltaicos* / Hioki. (s.f.). Hioki : Corporate. <https://www.hioki.com/us-es/industries-solutions/facilities/pv-current.html#:~:text=Una%20curva%20IV%20es%20una,en%20la%20generación%20de%20energía.>

[30] *Medidor bidireccional CFE ¿Qué es? Y ¿Cómo funciona?* (s.f.). Solar Inc Monterrey. <https://www.energiasolarinc.com/medidor-bidireccional-cfe/>

[31] *Supresor de picos ¿Qué es y por qué es importante?* (s.f.). Para Rayos. <https://www.para-rayos.com/supresor-de-picos/#:~:text=Un%20supresor%20de%20picos%20es,de%20un%20pico%20o%20sobretensión.>

[32] *Mejores placas solares del mercado en 2024 - solfy.* (s.f.). solfy. <https://solfy.net/placas-solares/mejores-placas-solares-del-mercado-en-2024/>

[33] *Los mejores inversores solares.* (s.f.). SolarMente. <https://solarmente.es/blog/mejores-inversores-solares/>

[34] Cantos Serrano, J. (s.f.). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas.*