



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“PROPUESTA DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA UNA CASA HABITACIÓN”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A:

JUAN MANUEL SÁNCHEZ BONILLA



**DIRECTOR DE TESIS: M. en C. RODRIGO OCÓN
VALDEZ
2019**

Cd. Nezahualcoyotl, Edo. de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TABLA DE CONTENIDO

Índice de tablas.....	IV
Índice de figuras.....	VI
OBJETIVOS.....	IX
General.....	IX
Particulares.....	IX
JUSTIFICACIÓN.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BÁSICOS.....	13
Energía eléctrica.....	14
Sistema Eléctrico de Potencia (SEP).....	14
Componentes principales de los Sistemas de potencia.....	16
Generación.....	17
Centrales eléctricas.....	17
Generador eléctrico.....	18
Transformación.....	19
Transformador eléctrico.....	19
Transmisión.....	20
Líneas de transmisión.....	21
Estructuras.....	22
Distribución.....	23
Estructuras.....	24
Transformadores de distribución.....	26
Conductores.....	27
CAPÍTULO 2: ENERGÍAS RENOVABLES.....	28
Energía eólica.....	29
Los aerogeneradores.....	29
Parques eólicos.....	30
Ventajas y desventajas.....	31
Energía hidráulica.....	32
Central hidroeléctrica.....	32
Ventajas y desventajas.....	34
Energía geotérmica.....	34
Clasificación de la energía geotérmica.....	35
Ventajas y desventajas.....	36

Biomasa	37
Ventajas y desventajas.....	38
Energía de hidrógeno	38
Métodos de obtención de hidrógeno.....	38
Pilas de combustible.....	39
Ventajas y desventajas.....	40
Energías renovables en México.....	40
CAPÍTULO 3 INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS (ISF); COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO	46
Energía solar.....	47
Instalación Solar Fotovoltaica (ISF).....	47
Componentes de una instalación fotovoltaica.....	49
Panel Solar.....	49
El efecto fotoeléctrico	50
Célula solar	50
Potencia de la célula	53
Regulador de carga.....	55
Banco de baterías.....	58
Inversor	60
Inversores conectados a la red	62
Estructuras.....	64
Energía solar en México.....	66
CAPÍTULO 4: APLICACIONES DE INSTALACIONES SOLARES EN SISTEMAS RESIDENCIALES	68
Tipos de suministro.....	69
Cálculo de la cantidad de energía	70
Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.....	71
Método Ampere - Hora	72
Criterio Watt - Hora.....	74
Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red	74
Recibo de luz de CFE.....	76
Tarifas domésticas	78
Tarifa DAC.....	81
Medidor bidireccional.....	82
Ejemplos aplicados de energía solar fotovoltaica.....	83
CAPÍTULO 5: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA EN UNA CASA HABITACIÓN.....	87

Cotizaciones a empresas dedicadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados.....	90
Cotización de Industronic.....	90
Cotización de Piensa Verde.....	93
Cotización de C-Verde.....	94
Cotización de eTesla	95
Cotización de SolNova.....	97
Cotización de IEM Solar.....	99
Propuestas de elementos para el sistema fotovoltaico	100
Paneles fotovoltaicos.....	100
Inversores.....	107
Arreglo serie - paralelo de los paneles	112
Protecciones en DC.....	114
Protecciones en AC.....	118
Cálculo de los conductores.....	120
Área de instalación	123
Consideraciones.....	125
Presupuesto.....	125
Tiempo de recuperación de la inversión	129
CONCLUSIONES	130
FUENTES CONSULTADAS	136
ANEXOS	140
Anexo 1: Abreviaturas y símbolos.	141
Anexo 2: División de regiones de cobro de CFE.....	144
Anexo 3: Fragmento de tabla de conductores NOM-001-SEDE-2012	145
Anexo 4: Recibo de luz de la casa habitación de estudio.....	146
Anexo 5: Horas Solares Pico en México	148
Anexo 6: Cotización de SolarEnergy	149
Anexo 7: Cotización de eTela.....	150
Anexo 8: Requisitos técnicos para la interconexión	153
Anexo 9: Contrato de interconexión	158
Anexo 10: Requisitos para la contratación	161
Anexo 11: Solicitud para la conexión.....	162
Anexo 12: Diagrama unifilar.....	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rango de voltajes usados.....	15
Tabla 2 Capacidad eléctrica instalada en México.	18
Tabla 3 Rango de voltajes.....	20
Tabla 4 Nomenclatura de los tipos de postes de distribución [4].....	25
Tabla 5 Capacidad instalada de generación de energía eléctrica.....	41
Tabla 6 Principales plantas geotérmicas en México.....	44
Tabla 7 Diferencia entre células solares según su tecnología de fabricación [8].....	51
Tabla 8 Características eléctricas del inversor [10].....	57
Tabla 9 Clasificación de acumuladores según sus características [11].....	59
Tabla 10 Parámetros comunes de los inversores [11] [12].....	61
Tabla 11 Inclinaciones de paneles solares según la latitud global [13].....	65
Tabla 12 Ejemplo de consumo de una casa habitación en zona centro.....	79
Tabla 13 Precio total (con impuestos) del consumo de energía eléctrica.....	79
Tabla 14 Límite de consumo en tarifa doméstica.....	81
Tabla 15 Tarifas DAC en zona centro del país en periodo de Agosto 2018 a Abril 2019.....	82
Tabla 16 Estimación de los precios de los recibos de luz.....	89
Tabla 17 Precios del sistema fotovoltaico por Industronic.....	92
Tabla 18 Precios del sistema fotovoltaico por C-Verde.....	95
Tabla 19 Precios del sistema fotovoltaico de SolNova.....	98
Tabla 20 Características eléctricas del panel fotovoltaico PV-01-250.....	100
Tabla 21 Características eléctricas del panel fotovoltaico PV-05-305.....	102
Tabla 22 Características eléctricas del panel fotovoltaico EGE-270-W.....	103
Tabla 23 Características eléctricas del panel fotovoltaico 270w2.....	104
Tabla 24 Características eléctricas del panel fotovoltaico RCM-P672-330T.....	105
Tabla 25 Capacidades de los sistemas fotovoltaicos según las propuestas independientes de paneles fotovoltaicos.....	107
Tabla 26 Especificaciones del inversor Solis-mini-3000.....	107
Tabla 27 Especificaciones del inversor Connera Forteplus 3km2/2.....	109
Tabla 28 Especificaciones del inversor Connera Forteplus 4km2/2.....	110
Tabla 29 Especificaciones del inversor Goodwe GW3000-NS.....	111
Tabla 30 Voltajes y corrientes mínimas y máximas de los inversores propuestos.....	113
Tabla 31 Cálculo de voltaje total en conexión serie de los paneles fotovoltaicos propuestos.....	113
Tabla 32 Especificaciones del supresor de picos Suntree.....	116
Tabla 33 Especificaciones de la pastilla termomagnética ABB.....	116

Tabla 34 Selección de interruptores termomagnéticos a partir de la corriente máxima de salida de los inversores propuestos	118
Tabla 35 Selección de los interruptores diferenciales a partir de la capacidad de las pastillas termomagnéticas	119
Tabla 36 Selección del calibre del conductor según la NOM y la corriente del arreglo.....	121
Tabla 37 Cálculo de caída de tensión para cada arreglo fotovoltaico	122
Tabla 38 Áreas requeridas para la instalación de los paneles fotovoltaicos propuestos	124
Tabla 39 Energía generada aproximadamente por los paneles fotovoltaicos propuestos.....	125
Tabla 40 Propuesta 1 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 3 kWp.....	126
Tabla 41 Propuesta 2 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 3.05 kWp	126
Tabla 42 Propuesta 3 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 2.97 kWp	127
Tabla 43 Propuesta 4 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 2.7 kWp	127
Tabla 44 Propuesta 5 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 2.97 kWp	128
Tabla 45 Presupuestos con el 20% adicional.....	129
Tabla 46 Tiempo de recuperación de los sistemas propuestos	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Estructura de un sistema de potencia.....	15
Ilustración 2 Símbolos eléctricos de generadores eléctricos.....	19
Ilustración 3 Representación unifilar de un transformador eléctrico.....	19
Ilustración 4 Representación de un cuadripolo.....	22
Ilustración 5 Diferentes configuraciones de postes para distribución.....	26
Ilustración 6 Componentes principales de un parque eólico.....	31
Ilustración 7 Componentes principales de una central hidroeléctrica.....	33
Ilustración 8 Funcionamiento de una central geotérmica.....	35
Ilustración 9 Capacidad total deseada a instalar de energía eólica en México para el 2020.....	43
Ilustración 10 Mapa de recursos geotérmicos de México.....	45
Ilustración 11 Huerto solar de CFE instalado en Durango.....	48
Ilustración 12 Componentes básicos de una instalación fotovoltaica.....	49
Ilustración 13 Célula solar.....	50
Ilustración 14 Tipos de paneles fotovoltaicos con diferentes tipos de células.....	51
Ilustración 15 Estructura de la célula solar.....	52
Ilustración 16 Tipos de conexiones de células solares.....	54
Ilustración 17 Configuración de panel solar que entrega 6V a 9A con células solares de 0.6V y 3A c/u.....	55
Ilustración 18 Esquema de conexión del regulador en la instalación.....	55
Ilustración 19 Ejemplo de inversores centrales.....	63
Ilustración 20 Ejemplo de microinversor.....	63
Ilustración 21 Diversas estructuras de soporte para paneles fotovoltaicos.....	64
Ilustración 22 Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	65
Ilustración 23 Mapa de niveles de irradiación en México.....	66
Ilustración 24 Gráfica representativa de la cantidad de irradiación diaria promedio mensual en México.....	67
Ilustración 25 Ejemplo de recibo de luz.....	77
Ilustración 26 parque solar Villanueva en Viescas, Coahuila.....	83
Ilustración 27 Enrique Peña Nieto inaugurando el Parque Solar Aura Solar I.....	84
Ilustración 28 Edificio sede de Grupo FEMSA, Monterrey, Nuevo León.....	85
Ilustración 29 Inauguración del sistema fotovoltaico en el edificio corporativo de Bimbo.....	85
Ilustración 30 Vista de la azotea de la Facultad de Ingeniería en la UAEM, campus El Cerrillo.....	86
Ilustración 31 Gráfica de consumo de energía bimestral de la casa en estudio.....	88
Ilustración 32 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico de Industronic.....	91
Ilustración 33 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico de Piensa Verde.....	93

Ilustración 34 Inversor Solis propuesto por Piensa Verde.....	94
Ilustración 35 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico de eTesla.....	96
Ilustración 36 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico propuesto por IEM Solar.	99
Ilustración 37 Panel fotovoltaico IUSA de 250 W.....	101
Ilustración 38 Panel fotovoltaico IUSA de 305 W.....	102
Ilustración 39 Panel fotovoltaico EGE de 270 W.	104
Ilustración 40 Paneles fotovoltaicos IQ Energía Solar de 270 W.	105
Ilustración 41 Panel fotovoltaico RECOM de 330 W.....	106
Ilustración 42 Inversor Solis de 3kW.....	108
Ilustración 43 Inversor Connera de 3kW.....	109
Ilustración 44 Inversor Connera de 4 kW.....	110
Ilustración 45 Inversor Goodwe de 3kW.	111
Ilustración 46 Ejemplificación de la conexión en serie de los paneles fotovoltaicos.	113
Ilustración 47 Resultado de una falla en "punto caliente"	114
Ilustración 48 Supresor de picos Suntime	116
Ilustración 49 Pastilla termomagnética ABB.....	117
Ilustración 50 Interruptor diferencial. Ilustración 51 Interruptor de cuchillas Square D.....	119
Ilustración 52 Representación de la instalación de los paneles fotovoltaicos en vista de perfil y su proyección de sombra.	123
Ilustración 53 Ejemplo de sombreado de los paneles.	124

Por fin.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar el diseño de una instalación solar fotovoltaica para una casa habitación en la zona centro de México.

PARTICULARES

- Conocer las principales energías renovables que existen y su implementación dentro y fuera del país.
- Realizar el estudio de los componentes y aspectos técnicos requeridos para poder realizar el diseño de una instalación fotovoltaica.
- Proponer diferentes cotizaciones por parte de empresas dedicadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para una casa habitación con tarifa DAC.
- Realizar y proponer el diseño de una instalación fotovoltaica interconectada a la red y seleccionar el equipo necesario para una casa habitación con tarifa DAC.
- Realizar la comparación de precios y características entre las cotizaciones realizadas a empresas y el diseño propuesto en este trabajo para poder optar por la mejor opción.
- Realizar el estudio económico del sistema fotovoltaico propuesto.
- Promover el uso de energías limpias para la generación de energía eléctrica en pequeña escala.



JUSTIFICACIÓN

Dado que actualmente con la generación de energía eléctrica convencional los usuarios domésticos con un alto consumo de esta son los más afectados económicamente, se propone una instalación fotovoltaica interconectada a la red de CFE para una casa habitación en la zona centro del país con tarifa de alto consumo (DAC) esperando obtener una disminución del consumo de potencia eléctrica y, a su vez disminuir el costo del servicio de la compañía en gran proporción.

En el presente trabajo se estudia los beneficios de la energía solar y se proponen diversas cotizaciones tanto de empresas que se dedican a la instalación como independientes para poder hacer un análisis del precio y el periodo de tiempo en el cual será redituable desde el momento de su instalación y la disminución en el pago del servicio de energía eléctrica suministrado por CFE.

Así también se dará el apoyo en pequeña escala al uso de energías limpias en el país para poder tener un mayor desarrollo en este tipo de tecnologías y estar dentro del nivel de capacidad instalada de este tipo de energía a nivel mundial.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo empieza con un pequeño resumen de cómo está conformado un sistema de potencia antes de empezar a hablar de una instalación doméstica. Se tiene que tener en consideración el porqué de esta propuesta partiendo de la generación de energía eléctrica de forma convencional en las centrales eléctricas del país. Una vez obtenida esta energía se sabe que no es por arte de magia que llegue hasta nuestros hogares sino que existe toda una serie de pasos para poder llegar a este objetivo, el cual pasa desde la llegada a los transformadores de elevación de tensión dentro de la misma central, seguido de las líneas de transmisión, a las subestaciones de paso, subestaciones de bajada de tensión, líneas de distribución, transformadores de distribución y finalmente a la acometida de los hogares, todo esto conocido como un Sistema Eléctrico de Potencia.

Partiendo de este concepto básico, se pueden mencionar las diferentes formas de generación de energía eléctrica teniendo todas el mismo propósito pero algunas siendo más amigables con el medio ambiente que otras, conocidas como energías limpias o energías renovables, dado que la mayor cantidad de generación de energía eléctrica en el país es por medio de energías convencionales o energías no renovables como lo es las termoeléctricas que usan la energía proveniente de la quema de combustibles fósiles. Por esta situación se plantea la idea del trabajo que es promover el uso de energías limpias empezando desde el hogar para dar auge a este tipo en el mercado y verlo como un método alternativo a mediano plazo y, tal vez a largo plazo como la sustitución de la generación convencional.

Dentro de los tipos de generación de energía eléctrica limpia existe la hidroeléctrica, eólica, geotérmica, biomasa, incluso el aprovechamiento de la energía de la generación de hidrógeno. Pero nos concentraremos principalmente en la energía solar que, por ser la energía por excelencia en el mundo ya que es inagotable, al menos durante la existencia del ser humano, es una de las más rentables en los últimos años dando la capacidad de dar abastecimiento de energía en pueblos pequeños, edificaciones completas, casa hogares, alumbrado público, dispositivos móviles y dentro de poco poder sustentar ciudades completas.

Cualquier tipo de generación no se obtiene sola, sino que necesita varios dispositivos y tecnologías modernas para poder realizar su función, por lo que también se hablará de los componentes que se necesita en una Instalación Solar Fotovoltaica que nos proveerá de la energía eléctrica producida por el sol a través de su componente más importante que es el panel solar o panel fotovoltaico. Pero no basta con solo tener el panel para poder ser beneficiados por la energía del sol, sino que también se necesita de dispositivos de seguridad en corriente directa y alterna, un inversor, un banco de baterías y un regulador de carga, dependiendo del estilo de la instalación que se desee tener en el hogar se pueden omitir algunos dispositivos y agregar otros, como lo es un medidor bidireccional.

Conociendo el funcionamiento de cada parte de la instalación nos podremos dar más la idea del beneficio que le estamos proporcionando a nuestro planeta al usar energías limpias para el mismo propósito que hemos estado usando desde hace varios años producto de la



quemar combustibles fósiles y entender que es más sencillo, más eficaz y en un futuro no muy lejano, más económico.

Sabemos que este tipo de energía no es nueva en el mercado de la electricidad, pero en los últimos 20 años ha tenido un crecimiento exponencial por sus ventajas ante sus desventajas a nivel mundial dado el caso de España, Alemania y China que son los países con mayor potencia instalada en el mundo y dando un resultado ecológico notable. Por lo que podemos visualizar ejemplos ya aplicados para tener un panorama del uso de la energía solar en diferentes campos.

Aunque la puesta de una instalación solar fotovoltaica, en este caso interconectada a la red, necesita de una serie de requisitos específicos que pide la compañía suministradora del país (Comisión Federal de Electricidad) para poder inyectar la energía generada de los paneles a la red eléctrica nacional, ya que si no se cumple con esto se puede caer en una falta y simplemente no es aceptada la energía del hogar.

La energía eléctrica es suministrada por una empresa paraestatal, esta tiene un costo y a todos los usuarios registrados les llega un recibo “de luz” bimestralmente donde se refleja el consumo, los parámetros a cobrar, y lo más importante el tipo de tarifa que se está manejando para el cobro, ya que normalmente una casa habitación tiene una tarifa 1A o 01. Hay situaciones en las cuales cuando un hogar tiene un consumo excesivo y sobrepasa ciertos límites marcados por la compañía suministradora los usuarios serán acreedores a una multa impuesta por la Ley de la Industria Eléctrica y entrarán “como castigo” en una nueva tarifa donde el gobierno ya no subsidiará el consumo sino que será un costo por kWh diferente denominado como Tarifa Doméstica de Alto Consumo (o DAC por sus siglas en español) la cual es la tarifa más alta que se tiene dentro del país (dependiendo de la zona en que el usuario se encuentre).

Una vez calculada la capacidad de la instalación que se desea tener, con un sencillo análisis económico, se da a conocer cuánto será el costo total de la instalación según algunos proveedores que hacen desde el diseño hasta la solicitud del contrato con CFE a otros que solamente nos dan los materiales necesarios para la instalación y compararlo con el gasto total que se desea disminuir para poder tener un estimado de cuánto tiempo la inversión será remunerable primeramente para salir de la tarifa DAC a una tarifa normal y de esta disminuir el costo del servicio bimestral.

En pocas palabras el proyecto que a continuación se presenta no solamente es para promover las “energías verdes” sino que también se ve por la situación económica del consumo de energía en ciertos usuarios que de una u otra forma necesitan tener un consumo alto a comparación del promedio. Así la instalación también está diseñada para fines económicos que beneficiaran en mediano y largo plazo tanto al país como a los usuarios en tarifas domésticas

CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BÁSICOS



ENERGÍA ELÉCTRICA

Es la energía cinética que es consecuencia del movimiento de los electrones, que, al ir cargados negativamente, producen cargas eléctricas. Si se aplica una fuerza que haga que los electrones se muevan, se genera una “corriente de electrones” (electricidad), que se puede canalizar por un conductor o pueden ser almacenados en una pila [1].

La producción de energía eléctrica se puede clasificar según el tipo de combustible que se utiliza, y pueden ser:

- Fuentes energéticas renovables: El cual es muy abundante para su utilización, son poco o nada dañinas para el medio ambiente y la tecnología que se utiliza para su aprovechamiento es actualmente la que está más en desarrollo.
- Fuentes energéticas no renovables: Son las fuentes que tienen un límite de uso y es propensa al desabasto, producen muchos residuos contaminantes para el medio ambiente pero su tecnología es la que actualmente es la más desarrollada en el mundo ya que es la más comercial. Esta por ejemplo el petróleo, el gas natural, el propano, el carbón y el uranio.

SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP)

Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica de tal forma que se logre la mayor calidad al menor costo posible.

Un sistema de potencia puede dividirse en cinco etapas principales:

- Generación
- Transformación
- Transmisión
- Distribución
- Consumo

Los sistemas de potencia trabajan, mayoritariamente, con corriente alterna (aunque actualmente hay sistemas que usan corriente directa como la interconexión de la red eléctrica de Uruguay a Brasil) a 60 Hz de frecuencia. A veces se realizan tramos especiales en corriente continua (ej. Conversor de frecuencia de Rivera para la interconexión entre la red uruguaya y la brasileña).

También existen sistemas de más de 3 fases, pero su producción es muy cara y complicada en comparación a los beneficios que dichos sistemas otorgan, el balance se encuentra en sistemas trifásicos.

En los sistemas de potencia, existen rangos de voltaje en sus diferentes etapas para poder funcionar correctamente, las cuales son las siguientes:

Tabla 1 Rango de voltajes usados.
Fuente IEC

Etapa	Niveles de tensión
Generación	11 kV - 24 Kv
Transmisión en Extra alta tensión	345 kV, 400 Kv, 500 Kv y 765 kV en corriente alterna. ±500 kV o ±600 kV en corriente directa.
Transmisión	115 kV a 230 kV
Subtransmisión	34.5 kV a 69 kV
Distribución	6 kV, 12.5 kV, 13.8 kV, 23 kV y 34.5 kV
Suministro	440 V, 127 V

El siguiente esquema explica mejor la distribución de algunos equipos de las diversas etapas dentro de un sistema de potencia.

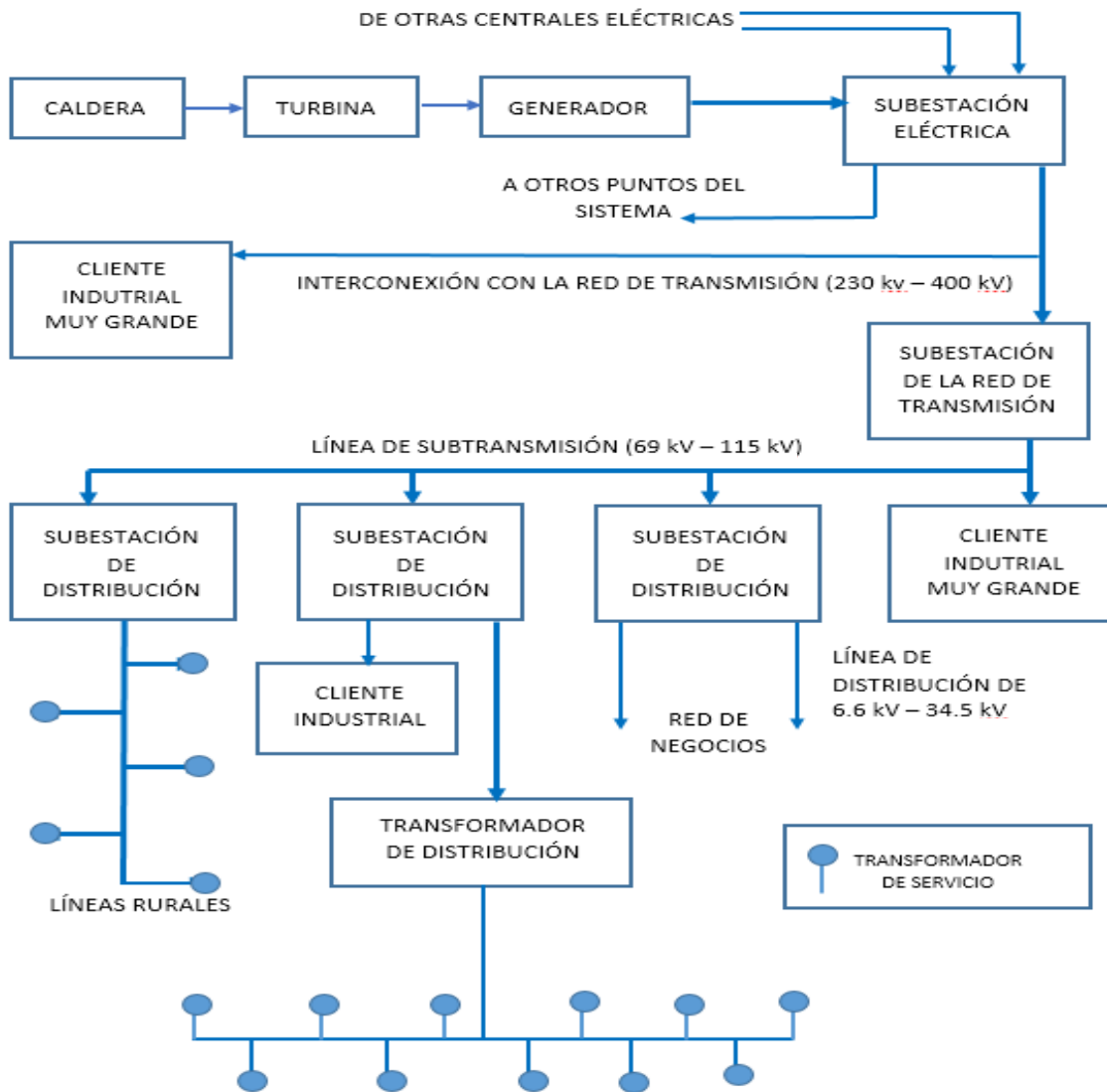


Ilustración 1 Estructura de un sistema de potencia.



COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE POTENCIA

- **Plantas generadoras:** Instalaciones y equipos para producir energía eléctrica mediante la transformación de otras formas de energía.
- **Transformadores:** Equipos para elevar y reducir los niveles de tensión de operación del sistema eléctrico.
 - Transformadores de potencia.
 - Transformadores de distribución.
- **Equipos de compensación reactiva:** Equipos que producen o consumen energía reactiva para el control de voltaje, control de factor de potencia o estabilidad.
 - Condensadores síncronos (máquina síncrona sobre excitada).
 - Reactores.
 - Bancos de capacitores.
 - Etc.
- **Líneas de transmisión:** Equipos para transportar energía eléctrica entre dos puntos.
 - Líneas de transmisión.
 - Líneas de subtransmisión.
 - Líneas de distribución.
- **Equipos de corte y maniobra:** Realizan las maniobras de conexión y desconexión de los equipos eléctricos principales en condiciones normales de operación o bajo falla. Pueden manejar los sobrevoltajes asociados a las maniobras.
 - Switchero y el fenómeno del arco eléctrico.
 - Interruptor de potencia (circuit breaker).
 - Seccionador (disconnector)
 - Reconectores (recloses)
 - Cortacircuitos (cut – outs)
- **Equipos de protección:** No previenen las fallas. Su operación tiene gran efecto sobre la seguridad y estabilidad del sistema. Equipos que detectan las fallas o condiciones anormales de operación y realizan una acción.
 - Relés de protección (relays): poseen algunas formas de inteligencia para ejecutar su función. Comparan los valores de una o varias señales de entrada con respecto a una referencia. Si se cumple el criterio de comparación se produce una orden de disparo o alarma.
 - Pararrayos (Surge Arrester)
- **Equipos de medida:** Toman muestras de las señales de interés y las convierte a señales analógicas o digitales de bajo rango. Por ejemplo: baja tensión y baja corriente.
 - Transformadores de instrumentación (TC y TP)
 - Medidores, Remote Terminal Unit (RTU)
 - Analizadores de señales.
- **Equipos de control:** Permiten controlar la operación de los equipos principales del sistema de potencia.
 - Regulador de velocidad (Governor)
 - Regulador de voltaje (Excitation control, AVR).
 - Power System Stabilizer (FSS)

- Control convencional (humanos)
- Programmable Logic Controlers (PLC)
- Scada, control cotidiano, centro de control.
- **Equipo de comunicaciones:** Transmite señales de medida, control y protección.
 - PLC (Power Line Carrier)
 - Teléfono
 - Microondas, radio, etc.
 - OPGW.
- **Equipo de servicios auxiliares:** Son fuentes de alimentación de los equipos principales.
 - Bancos de baterías.
 - Plantas de emergencia.
 - Cargadores de baterías.
 - Tableros de distribución.
 - Transformadores de servicios auxiliares.

Las etapas de un sistema de potencia se pueden especificar de la siguiente forma:

GENERACIÓN

Es la etapa donde, a partir de combustibles (ya sean renovables o no), y de un generador eléctrico se produce el suministro de energía eléctrica para una cierta región, concentrado en una zona, denominada central eléctrica.

El voltaje de los generadores está limitado por la tecnología de sus aislamientos y enfriamientos. El voltaje máximo que pueden generar es de 24 kV. Los límites de voltaje para la transmisión esta ajustados por los sistemas de protección (interruptores).

CENTRALES ELÉCTRICAS

Son instalaciones en las cuales se aprovecha la energía mecánica producida sobre un generador eléctrico (como la solar, nuclear, eólica o de combustión de combustibles fósiles, conocidas también como fuentes de energía primarias), para convertirla en energía eléctrica.

En general, se aprovecha la energía potencial de los elementos (como es el caso de cause de un río, la energía térmica de la combustión de fósiles), para poner en movimiento los alternadores (o en su caso, turbinas que mueven a su vez los generadores). Estos tienen la función de que, al girar a altas velocidades, produzcan energía eléctrica en forma de corriente alterna.

En México existen diferentes tipos de centrales eléctricas para abastecer el consumo diario del país. En la siguiente tabla se refleja los tipos de centrales que están en funcionamiento en el país y su capacidad de potencia que proporciona.



Tabla 2 Capacidad eléctrica instalada en México.
Fuente: SENER/PRODESEN [3]

Capacidad instalada eléctrica por tipo de tecnología (MW)			
Tipo de energía	2014	2015	2016
Convencional	47,438	48,778	52,331
Ciclo combinado	23,465	24,043	27,274
Termoeléctrica convencional	12,657	12,711	12,594
Carboeléctrica	5,378	5,378	5,378
Turbogas	4,214	4,904	5,052
Combustión interna	1,152	1,163	1,453
Lecho fluidizado	580	580	580
Limpia	18,014	19,266	21,179
Hidroeléctrica	15,364	16,406	18,529
Eólica	12,458	12,489	3,735
Geotérmica	2,036	2,805	909
Solar	813	926	145
Bioenergía	56	56	889
Generación distribuida	0.3	131	248
Otras	2,650	2,859	2,651
Nucleoeléctrica	1,400	1,510	1,608
Cogeneración eficiente	559	583	1,036
Total	65,452	68,044	73,510

GENERADOR ELÉCTRICO

Los generadores eléctricos (síncronos) o alternadores son máquinas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna con una frecuencia fija o sincronizada. Es usado para generar la mayoría de la energía eléctrica en el mundo.

En el generador síncrono, debe alimentarse el devanado del rotor con corriente continua, la cual produce un campo magnético giratorio dentro del generador, el cual, a su vez induce un sistema trifásico de voltajes en los arrollamientos del estator.

El voltaje de fase de la máquina difiere del voltaje generado, debido a los efectos de reacción de armadura y a la resistencia y reactancia internas del devanado de armadura. El voltaje de terminal del generador podrá ser igual al voltaje de fase o podrá estar relacionado con éste por $\sqrt{3}$, dependiendo si la máquina esté conectada en estrella o delta.

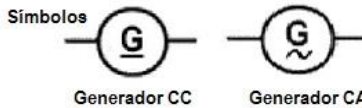


Ilustración 2 Símbolos eléctricos de generadores eléctricos.

La frecuencia eléctrica producida por los generadores síncronos está fija o sincronizada con la velocidad de rotación. El rotor del generador consiste en un electroimán al cual se le alimenta con corriente continua. La velocidad de rotación del campo magnético y la frecuencia eléctrica originada en el estator están relacionadas.

TRANSFORMACIÓN

Es la etapa donde se eleva la energía eléctrica a altas tensiones para ser conducida por las líneas de transmisión (transformadores de potencia). O la tensión es reducida para la distribución de ésta (transformadores de distribución).

TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Es un dispositivo eléctrico que, mediante un acoplamiento magnético, transfiere energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a otro, a la misma frecuencia, pero usualmente modificando sus valores de voltaje y corriente, ya sea para elevar o para reducir estos.



Ilustración 3 Representación unifilar de un transformador eléctrico.

Cuando se aplica un voltaje al devanado primario del transformador, da origen a un flujo en el núcleo según la ley de Faraday, diciendo que con un cierto número de espiras (N) y un flujo magnético (Φ), inducirá un voltaje (e).

$$e_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

El flujo variable induce un voltaje en el devanado secundario.

Como el núcleo del transformador tienen alta permeabilidad, necesita una fuerza magnetomotriz muy pequeña para crear el flujo.

Un transformador produce un cambio en la tensión o voltaje de un circuito. Dicho cambio está dado por la relación de transformación. La corriente alterna se usa por la facilidad que tiene para transformarse.

$$\frac{V_2}{V_1} = n \text{ (relación de transformación)}$$



A mayor voltaje, menor corriente porque la potencia debe mantenerse constante. Para transportar la Potencia (P) utilizando una tensión (V) mayor, se logra con corrientes (I) menores.

$$P_1 = V_1 I_1 \approx P_2 = V_2 I_2$$

Corrientes menores implican menores pérdidas en las redes (conductores) y menores caídas de tensión.

TRANSMISIÓN

Es la etapa donde la energía es conducida desde la central hasta las líneas de transmisión de gran calibre para ser usada en sistemas de distribución o directamente en zonas donde es requerida.

Los sistemas de transmisión y distribución están conformados por kilómetros de conductores de alta y baja tensión, dispersos en toda un área, interconectados para que la energía eléctrica sea distribuida a los clientes de las compañías suministradoras.

Aparte de proporcionar energía eléctrica, el sistema de transmisión y distribución debe suministrarla lista para su uso sin grandes fluctuaciones de voltaje y altos niveles de armónicos, es decir, debe ser una señal eléctrica limpia.

La transmisión a grandes distancias es más eficiente a altos voltajes. La energía generada es enviada primeramente a un transformador eléctrico para elevar su tensión a niveles de transmisión para poder entrar a la red eléctrica nacional. Los niveles de tensión de transmisión usados en México son los siguientes:

Tabla 3 Rango de voltajes.
Fuente: IEC

Clasificación IEC (International Electronic Comisión)	Tensión de operación
Baja tensión	<1 kV
Media tensión	1 Kv < V < 72.5 kV
Alta tensión	72.5 kV < V < 300 kV
Extra alta tensión	300 kV < V < 400 kV
Ultra alta tensión	> 400 kV

Las pérdidas eléctricas son proporcionales a la potencia eléctrica al cuadrado e inversamente proporcionales al cuadrado del voltaje.

$$I^2 R = \frac{\rho L P^2}{A V^2}$$

Las redes eléctricas tienden cada vez más a interconectarse tanto localmente como entre países de una región. Con esto se logra un funcionamiento más confiable y económico. Es confiable ya que, ante la falla de un elemento de la red, existe redundancia y por lo tanto posibilidad de respaldo. Es económico ya que las reservas pueden compartirse y se aprovecha la complementariedad de la demanda y la generación entre distintas zonas.

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Son conductores eléctricos que conectan desde una central generadora hasta los puntos de consumo de los clientes entre varios circuitos de distribución que están dispersos a través de todo el territorio nacional con diferente localización, además de tener la capacidad de cubrir las demandas pico.

Se consideran con un extremo receptor, un extremo emisor, así como sus parámetros principales:

- Resistencia en serie por unidad de longitud R (Ω/m)
- Inductancia en serie por unidad de longitud L (Hy/m)
- Capacitancia en paralelo por unidad de longitud C (Fd/m)
- Conductancia en paralelo por unidad de longitud G (S/m)

La resistencia de los conductores varía dependiendo de la frecuencia de la energía que se use, ya que, a altas frecuencias, la resistencia aumenta debido al efecto skin.

Por principio de Faraday, en todo conductor que circule una corriente eléctrica, provoca un efecto de inductancia.

Como los conductores son cables que a su vez están formados por varios alambres internamente, y entre conductor y conductor existe un aislante (ya sea el mismo hule del cable o el aire donde están suspendidas las líneas), genera un efecto capacitivo.

Y por último la conductancia es consecuencia de que el dieléctrico no es perfecto y tiene una cierta resistividad, por lo que parte de la corriente que fluye por ellos se “fuga” y junto con la resistencia en serie contribuye a las pérdidas en la línea.

Sus parámetros secundarios son la impedancia característica (Z_0) también llamada resistencia a descarga, es la impedancia que se ve desde una línea infinitamente larga o la impedancia que se ve desde el largo finito de una línea que se determina en una carga totalmente resistiva igual a la impedancia característica de la línea. Y la constante de propagación.

Para el análisis, una línea de transmisión se puede modelar como un cuadripolo o red bipuerto.

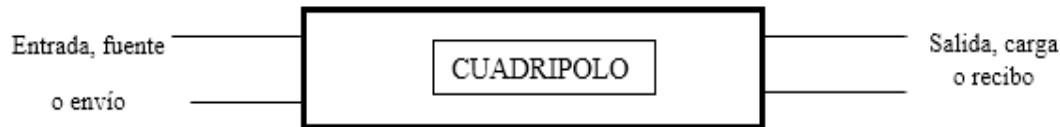


Ilustración 4 Representación de un cuadripolo.

En las líneas, teóricamente no tienen pérdidas, pero en la práctica hay varias formas en que la potencia se pierde, como:

- Pérdida del conductor.
- Pérdida por radiación por el calentamiento del dieléctrico.
- Pérdida por acoplamiento.
- Descarga luminosa (efecto corona).

Los conductores usados en las líneas de transmisión tienen las siguientes características:

- Se utilizan cables, no alambres.
- Pueden utilizarse conductores distintos para fases y cables de guarda.
- Pueden ser desnudos o aislados.
- Los materiales más utilizados son: aluminio, cobre, acero galvanizado y aleaciones y combinaciones de estos como el ACSR/AW, copper Weld.
- Los cables aislados pueden tener o no un neutro concéntrico y ser monopolares, tripolares, bipolares, triplex, armados o acorazados.

ESTRUCTURAS

Las torres o estructuras, constituyen el soporte mecánico de las líneas de transmisión y económicamente representan la mayor inversión. En México, se construyen principalmente de acero o cemento armado, para distribución y subtransmisión.

La clasificación de las torres y sus características son:

- Autosoportadas de celosía (estructurales): No requieren de apoyo adicional para su funcionamiento y sus dimensiones dependen de:
 - Tipo de terreno: Plano, ondulado o montañoso.
 - Distancia interpostal: es la distancia media entre dos torres adyacentes.
 - Función de la torre:
 - Tipo de suspensión: Usadas en las llegas y salidas de subestaciones eléctricas. Depende del ángulo de llegada o salida. Pueden ser de suspensión, tensión o remate. Son las más usadas en México.
 - Tipo de tensión: Usadas en menos medida para cruzamientos y alzamiento de altura de los conductores.

- Tipo de remate.
- Transposición: Usadas para alternar la posición de los conductores de fase de las líneas de transmisión.
- Autosoportadas tubulares: Su uso está restringido a zonas urbanas o zonas donde tienen problemas de disponibilidad de terreno para construir.
 - Usan tubos de acero.
 - Son compactas.
 - Su costo es superior a la condición de operación.
 - Están diseñadas para trabajar a suspensión o tensión.
 - Usan aislamiento sintético: vidrio o porcelana.
- Retenidas: Se usan con trabe horizontal sostenida con uno de dos puntos que trabajan exclusivamente a compresión. La estabilidad mecánica se asegura por medio de tirantes (también conocidas como retenidas).

DISTRIBUCIÓN

Es la etapa donde se conecta un sistema de líneas para repartir la energía eléctrica a cada cliente individualmente. Puede ser a nivel residencial, comercial o industrial.

Los sistemas de distribución tienen diferentes tipos de arreglos, los cuales se pueden clasificar como:

- Arreglo radial, los cuales, desde las subestaciones, las líneas de distribución se extienden como rayos de una rueda de bicicleta.
- Arreglo de lazo o malla, donde, cualquier punto sobre la línea tiene servicio desde dos direcciones, esto quiere decir que, si alguna línea está fuera de servicio, el cliente puede recibir energía desde otra dirección.
- Arreglo de red.
- Arreglo combinado radial - malla

Aunque también se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Sistemas aéreos (postes)
- Sistemas subterráneos (líneas subterráneas)
- Sistemas mixtos.

O también, las redes primarias pueden clasificarse en:

- Sistemas trifásicos de 3 hilos.
- Sistema trifásico de 4 hilos.
- Sistema monofásico de 2 hilos.
- Sistema monofásico de 1 hilo (sistema Swer)



Y las redes secundarias:

- Monofásica de 2 hilos.
- Monofásica de 3 hilos.
- Trifásica de 3 hilos.
- Trifásica de 4 hilos.

ESTRUCTURAS

En las redes de distribución también se usan estructuras aéreas para soportar los conductores, pero como la tensión es menor que la transmisión, su altura es menor, usan claros más cortos (vanos)¹ y también pueden ser soporte de conductores de otros sistemas como de televisión por cable, internet, etc.

Las estructuras usadas en la distribución son:

- **Postes de madera:** Son casi exclusivamente para baja tensión y están en claro desuso. Su costo es económico ya que su transporte es de precio bajo por su ligereza en comparación con los postes de concreto o metálicos. Su vida útil es relativamente corta (10 años) por la putrefacción en la parte inferior del poste principalmente. Los esfuerzos en la cabeza y su altura están limitados.
- **Postes de concreto (hormigón):** Pueden ser de varios tipos:
 - Postes de hormigón armado:
 - Es el más usado en redes de baja tensión.
 - Es de duración ilimitada.
 - No necesitan mantenimiento.
 - Son más pesado y caros de transportar.
 - Postes de hormigón armado vibrado: Mejora de los postes de hormigón armado
 - Altura promedio de 7 a 18 metros.
 - Su sección es rectangular o en forma de doble T.
 - Su gran ventaja es que se construyen en el mismo lugar donde serán usados.
 - No tiene costo de transporte.
 - Postes de hormigón armado centrifugado: Se usa principalmente en electrificaciones en ferrocarriles, líneas rurales en baja y alta tensión (220 kV), alumbrado exterior. Varios postes se pueden combinar en configuraciones de apoyo de ángulo, derivación, anclaje, etc. Son prefabricados.
 - Postes de hormigón armado pretensado:
 - Son más económicos que los de hormigón corriente.
 - Tienen gran gama de medidas y resistencias.

¹ Distancia horizontal entre dos torres o estructuras que soportan los conductores eléctricos.

- Tiene duración ilimitada.
 - Son más frágiles que los postes de madera.
 - Son más caros que los postes de madera.
- **Postes de acero:** El metal más usado es el acero de perfiles laminados en L, U, T, I, etc. Para unir diferentes perfiles se usan remaches, tornillos o soldadura.
 - Postes metálicos de presilla: Está formado por dos tramos ensamblados por tornillos. Cada tramo está formado por cuatro montantes angulares de ala iguales unidos entre sí por presillas soldadas. La cabeza o tramo superior tiene una longitud de 6 metros y la parte inferior se puede configurar con diferentes tramos para obtener alturas de 10, 12, 14, 18 y 20 metros.
 - Postes metálicos de celosía:
 - Se utiliza mayormente en altas tensiones (líneas de 3ª, 2ª y 1ª categoría)
 - Sus dimensiones dependen de los esfuerzos a los que esté sometido (distancia entre postes y tensión de la línea)

Los postes de distribución también tienen diferentes configuraciones: se puede montar con doble cruceta para circuitos dobles, con bastidor y aisladores de presilla para distribución secundaria o también se pueden usar para soportar transformadores de distribución tipo poste.

Para nombrar el tipo de poste a usar se usa una letra y dos números.

Tabla 4 Nomenclatura de los tipos de postes de distribución [4]

Tipos de postes	
HV	Hormigón armado vibrado.
HVH	Hormigón armado centrifugado u hormigón armado hueco.
HP	Hormigón armado pretensado.
P	Metálico de presilla.
C	Metálico de celosía.

El primer número hace referencia al esfuerzo nominal admisible en daN con un coeficiente de seguridad de 1.5, y el segundo número indica la altura del poste.

Ejemplo: **P 1250 18**

- P es un poste metálico de presilla.
- 1250 daN de esfuerzo nominal admisible.
- 18 metros de altura.

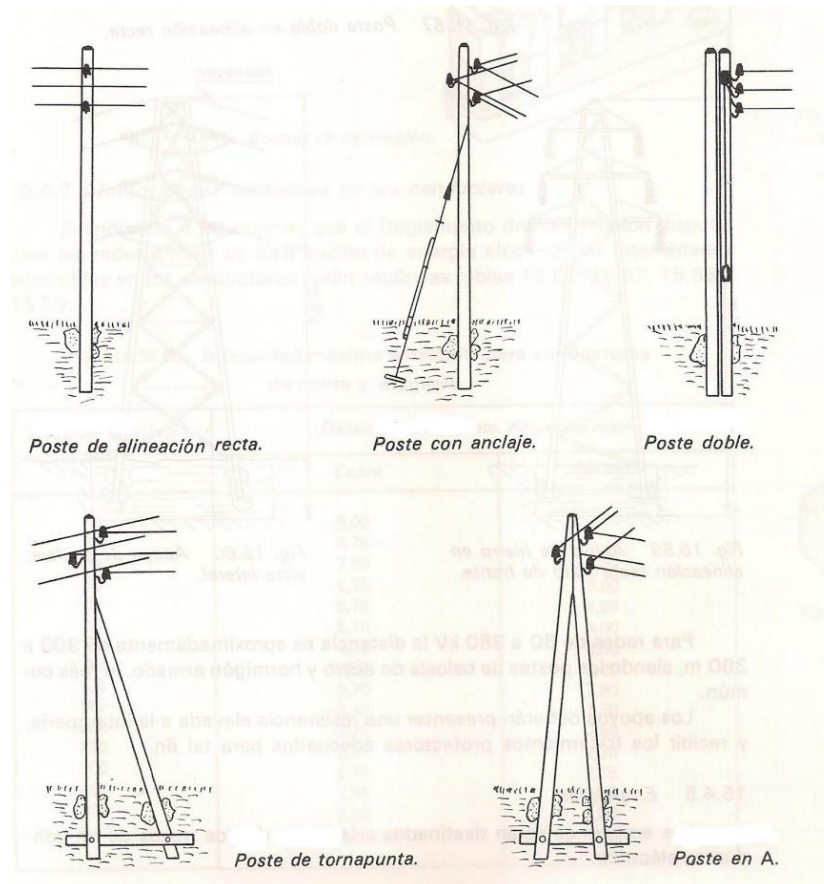


Ilustración 5 Diferentes configuraciones de postes para distribución.

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

Los transformadores tienen ciertas características principales que los distinguen de los grandes transformadores como de potencia, lo cuales son:

- Capacidad.
- Frecuencia.
- Voltaje primario y secundario.
- Cambiador de derivaciones.
- Número de fases.
- Conexión del primario/secundario.
- Porcentaje de impedancia.
- Pérdidas (con carga y al vacío).
- Tipo de enfriamiento.
- Y se usa la conexión estrella (Y) para la baja tensión, ya que es más fácil y tiene conexión a neutro.

Los transformadores de distribución se pueden clasificar por algunas de sus características:

- Por sus fases: monofásicos o trifásicos.
- Por su localización física: Tipo poste (aéreos), tipo pedestal (subterráneos), tipo subestación y sumergibles.
- Por su protección: autoprotegidos y sin protección.
- Por su tipo: secos y en aceite.

CONDUCTORES

Los calibres de los conductores se designan por la capacidad de corriente que pueden conducir y están limitados por las pérdidas y caídas de voltaje que puedan llegar a tener.

En México se utilizan los conductores ACSR² que tienen un alma de acero el cual tiene funciones mecánicas.

Las características principales de los conductores de transmisión son:

- Se utilizan cables, no alambre.
- Pueden utilizarse conductores distintos para fases y cables de guarda.
- Pueden ser desnudos o aislados.
- Los materiales más utilizados son: aluminio, cobre, acero galvanizado, aleaciones y combinaciones de estos como el ACSR/AW, copper Weld.
- Los cables aislados pueden tener o no un neutro concéntrico y ser monopolares, tripolares, bipolares, triplex, armados o acorazados.

Los conductores de cobre tienen mayor capacidad de conducción y soportan corrientes de corto circuito que los de aluminio. Otro material que se usa en los conductores es una aleación de cobre con estaño que, mejora la resistencia mecánica. Se usa mucho en las terminales de los transformadores o equipos.

En el cálculo de calibre del conductor, en operaciones normales, se usa el calibre inmediato superior, para que pueda tener una resistencia al paso de corriente y no faltarle y evitar una falla eléctrica.

² Aluminum Conductors Steel Reinforced (Conductores de aluminio reforzados con acero)

CAPÍTULO 2: ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables se caracterizan por consumir fuentes energéticas que son normalmente de origen natural y tienen un uso ilimitado por dos razones:

- El suministro de estas fuentes es abundante y prácticamente inagotable.
- La materia prima que se utiliza se puede renovar en un periodo muy corto de tiempo y tiene un bajo impacto ambiental, por lo que se puede usar varias veces para el mismo fin.

Una de las principales desventajas de algunas fuentes energéticas renovables es que son inconstantes (por ejemplo, el viento y el sol), por lo que en la historia del desarrollo de generación de energía eléctrica se ha optado por el uso de combustibles fósiles que aportan un suministro de energía constante, sin que dependa de la climatología, al igual que la tecnología para su aprovechamiento ha tenido mucho desarrollo. Por otro lado, su gran inconveniente es la escasez que está presentando últimamente, así como los problemas ambientales que se han generado a través de los años de uso de combustible fósil (principalmente la contaminación en las grandes urbes).

ENERGÍA EÓLICA

La palabra “eólica” proviene del nombre del dios griego del viento “Eolo” al igual que su origen de generación que es el mismo viento o movimiento de masas de aire.

Se usa principalmente para generar energía eléctrica y para esto se necesitan molinos de viento (aerogeneradores) en parques eólicos. También se utiliza la fuerza del viento para producir energía mecánica, como lo son en los molinos de granos.

Hay países europeos como Alemania, Dinamarca y Suecia que apuestan por esta tecnología, ya que la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles, está creando una cantidad significativa de contaminación, y con esto se pretende reducir los índices de dióxido de carbono.

LOS AEROGENERADORES

Su principio de funcionamiento es básico: el viento mueve las aspas (palas) del molino, que, a su vez, mueve un sistema de engranes que mueven el generador eléctrico.

La energía desarrollada por el viento es proporcional al cuadrado de su velocidad. Por otro lado, la potencia es proporcional a la velocidad elevada al cubo. Esto quiere decir que, si se aumenta la velocidad del viento, la energía generada aumentará mucho más.

Dentro del principio de operación de los aerogeneradores es que mientras más altos estén estos y el viento tenga mayor velocidad, se producirá mayor cantidad de energía, pero solo hasta cierto punto, ya que está limitado por lo siguiente:



- **Velocidad de corte inferior:** Es la velocidad mínima del viento con la cual el aerogenerador empieza a producir energía eléctrica, ya que a velocidades inferiores no es rentable la producción que proporciona.
- **Velocidad de corte superior:** Es la velocidad máxima del viento que soportan los aerogeneradores sin sufrir averías o estén en peligro. Esta velocidad puede variar entre modelos y dependiendo de los materiales del que están hechos.
- **Velocidad nominal:** Es la velocidad ideal en la que el aerogenerador alcanza su máxima potencia. Es recomendable que se mantenga en esta velocidad a pesar de que la velocidad del viento sea mayor.

Uno de los principales problemas de los aerogeneradores es que solo puede operar en un rango pequeño de velocidades (4 – 25 m/s). Es necesario frenar los aerogeneradores con regularidad ya que en las puntas de las palas se puede alcanzar velocidades muy grandes que produzcan gran estrés al equipo y materiales y puede llegar a dañarlo

Los componentes principales de un aerogenerador son:

- **Hélice o rotor:** Es la parte externa del molino que, cuando giran sus asparas, transmiten la energía cinética al sistema de engranajes.
- **Turbina o caja de engranajes:** Recibe la energía cinética del rotor para pasarla al generador.
- **Freno:** Sistema necesario para regular la velocidad de la turbina como protección.
- **Generador.**
- **Carcasa de protección.**
- **Torre:** Es la estructura que sostiene los componentes en la parte más alta del sistema. Mientras más alta sea la torre, más se puede aprovechar la velocidad de los vientos. Normalmente está constituida de hormigón o acero.
- **Equipo de control:** Localizado dentro de la torre y regula las funciones del aerogenerador.

PARQUES EÓLICOS

Los parques eólicos son zonas donde hay un conjunto de varios aerogeneradores y donde se han hecho estudios sobre la frecuencia y velocidades de los vientos y el impacto ambiental que pudiera llegar a tener la instalación de los molinos. Es básicamente una central de generación eléctrica con sus respectivas partes.

- **La turbina** – generador, también conocido como el aerogenerador en general o “góndola”.
- **Los cables** que conducen la energía generada de la turbina a la central o batería.
- **Carga de frenado.**
- **La toma de tierra** funciona para evitar las cargas estáticas que puede llegar a producir el viento cuando roza con las partes metálicas del molino.

- **La caja de control** y batería es donde llega toda la energía producida para controlarla, almacenarla y distribuirla.
- **La fuente auxiliar** sirve para cuando no hay viento en el ambiente y evitar el corte de suministro energético.
- **Los transformadores** de subida.
- **Las líneas de transmisión.**

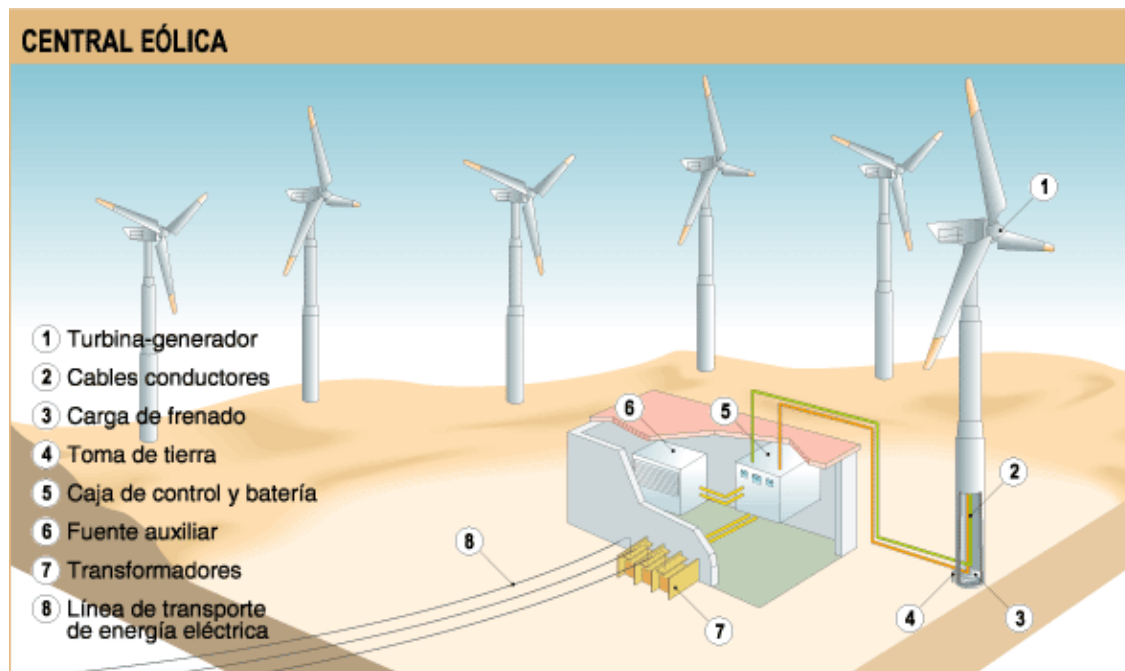


Ilustración 6 Componentes principales de un parque eólico.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- El coste energético es estable, ya que su vida útil es aproximadamente de 30 años, con un rendimiento apropiado si se le hace el correcto mantenimiento.
- La energía que entrega es limpia e inagotable.
- Se pueden aumentar el número de molinos dentro del parque, si las condiciones del terreno lo permiten y la demanda lo exija.
- Se puede establecer poblados aislados, pero con abastecimiento energético independiente a las compañías distribuidoras.
- Son un promotor de la disminución de combustibles fósiles y, a la par, de disminución de contaminación producida por estos.
- Sus instalaciones son relativamente pequeñas comparadas con otros tipos de generación (por ejemplo, de combustión de gas o de carbón).



Desventajas:

- Pueden ser perjudiciales para las aves.
- Son una contaminación visual potencial.
- Causa contaminación auditiva. A una distancia de 300 m las turbinas llegan a producir 40 dB.
- Se requiere una gran inversión inicial, pero los costos actuales están disminuyendo.

ENERGÍA HIDRÁULICA

La fuente que proporciona esta energía es el movimiento del agua, que se usa en la mayor parte del mundo, a tal punto en el que el 90% de la energía eléctrica producida es de este estilo.

El hombre, desde hace mucho tiempo aprovecha la energía que provee el agua en sus diferentes formas y diferentes recintos, desde la movilidad marítima hasta poder mover un eje para producir energía mecánica. Por lo cual se puede decir que la energía hidráulica es una de las primeras en tu tipo.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Cerca de los cuerpos de agua, existen construcciones que aprovechan esta energía para generar energía eléctrica conocidas como centrales hidroeléctricas. Normalmente se controla el flujo del agua por una tubería desde una altura mayor a una de menor altura para aumentar la velocidad del fluido y su presión. Con estas características es capaz de mover las alneas de una turbina, que esta a su vez, mueve un generador eléctrico para poder producir electricidad.

Los equipos mecánicos y eléctricos se colocan dentro de un edificio aislado del agua para protegerlos y evitar su corrosión (puede ser presas).

Las centrales hidroeléctricas se clasifican en dos grupos:

- **Grandes centrales hidroeléctricas:** regulan de forma anual o multianual la capacidad hidráulica almacenada para maximizar la generación y permitir el desarrollo de las actividades de otros sectores. Ejemplos de centrales mexicanas son Angostura, Chicoasén, Malpaso, Peñitas, Caracol, Infiernillo, Villita, Temascal, El cajón, Aguamilpa, Zimapán y La Yesca, que representan el 80.3% de la capacidad del país.
- **Centrales hidroeléctricas menores:** regulan de forma horaria, diaria o semanal las aportaciones hidráulicas, por lo que la producción de energía suele ser en periodos cortos de tiempo para minimizar las posibilidades de derrames.

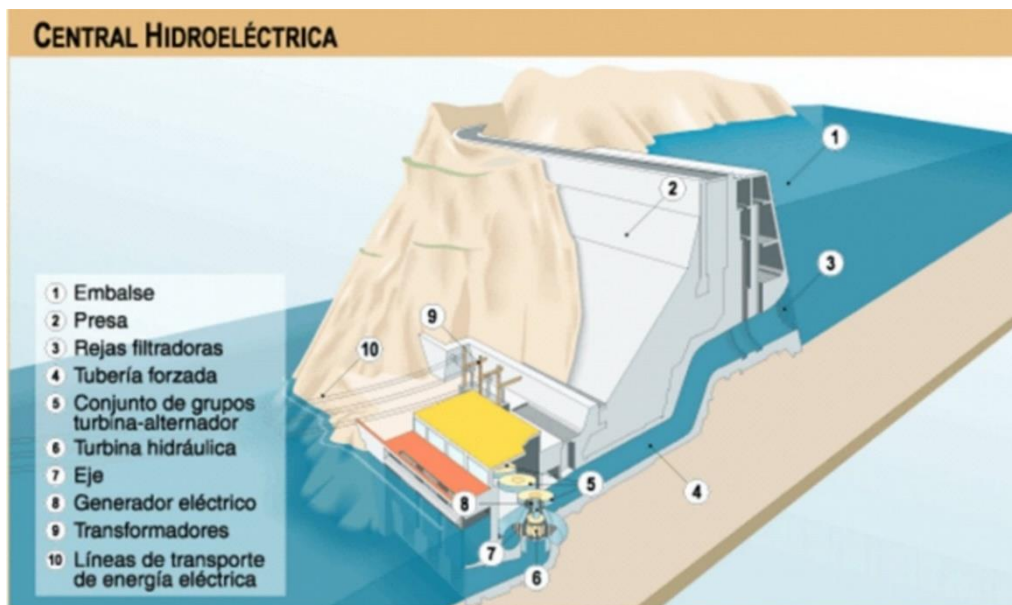


Ilustración 7 Componentes principales de una central hidroeléctrica.

Las partes importantes de una central hidroeléctrica son:

- **Embalse:** Es la cuenca donde se retiene el agua de un cuerpo de agua. Depende de la cuenca hidrológica para poder construirla, la pluviometría de la zona, las características geográficas, el impacto ambiental de la flora y fauna, etc.
- **Presa:** Es la estructura principal de la central que contiene el agua del embalse.
- **Rejillas de filtrado:** Son las partes de la presa que se colocan para retener las zonas sólidas que el agua puede arrastrar como la turbina y la tubería de la central.
- **Tubería forzada:** Esta se coloca para generar una diferencia de altura entre el embalse y la turbina, acelerando la velocidad del agua y aumentando la presión de ésta, es decir, aumentando su energía potencial para obtener mayor energía cinética al momento de llegar a la turbina.
- **Turbina hidráulica:** Es el aparato que convierte la energía cinética de la caída del agua de la tubería forzada en un movimiento rotacional.
- **Eje:** Es la parte móvil de la turbina hidráulica.
- **Generador eléctrico.**
- **Transformadores.**
- **Líneas de transmisión.**



VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- Controla y regula el curso de los ríos naturales, evitando en su gran mayoría inundaciones en poblados.
- En algunos casos especiales, es proveedor de agua potable en lugares donde los índices pluviales son escasos.
- La generación de electricidad es barata a comparación de otras formas de generación.
- Se usa básicamente como suministro de energía base (en México) para los altos índices de demanda de ciertas regiones.
- La vida útil de estas centrales ronda entre los 60 años o más.
- Son una fuente de energía limpia y produce una cantidad casi nula de residuos.
- Existirá energía hidroeléctrica mientras exista agua.
- Los embalses se pueden usar como zonas recreativas.

Desventajas:

- Las presas pueden afectar al ecosistema (flora y fauna) o ciertas poblaciones por el desvío del cauce del río.
- Los posibles accidentes pueden resultar muy riesgosos. Se necesita un nivel alto de seguridad.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

Geotérmico tiene como raíz griega “geo” que significa tierra y “termo” que significa calor, por consiguiente, la energía geotérmica es la energía del calor del interior de la tierra.

Aprovechando la energía térmica del interior de la tierra se puede generar energía eléctrica, ya que, en el subsuelo existen depósitos de agua que están más cerca de este calor, al ser extraída el agua en forma de vapor, tiene una cierta presión la cual es usada para el movimiento de una turbina en la superficie (al igual que en el caso de la energía hidráulica). Con esto, la turbina mueve al generador eléctrico, y el vapor, una vez usado se condensa para poder regresar el agua en forma líquida una vez más al subsuelo, a la región donde existe el calor para volver a generar vapor una vez más.

También existe el tipo de generación, en el cual, se puede inyectar agua al interior de la tierra para aprovechar el calor sin necesidad de estar en una zona específica o tectónica activa, la cual le da una gran ventaja de ubicación.

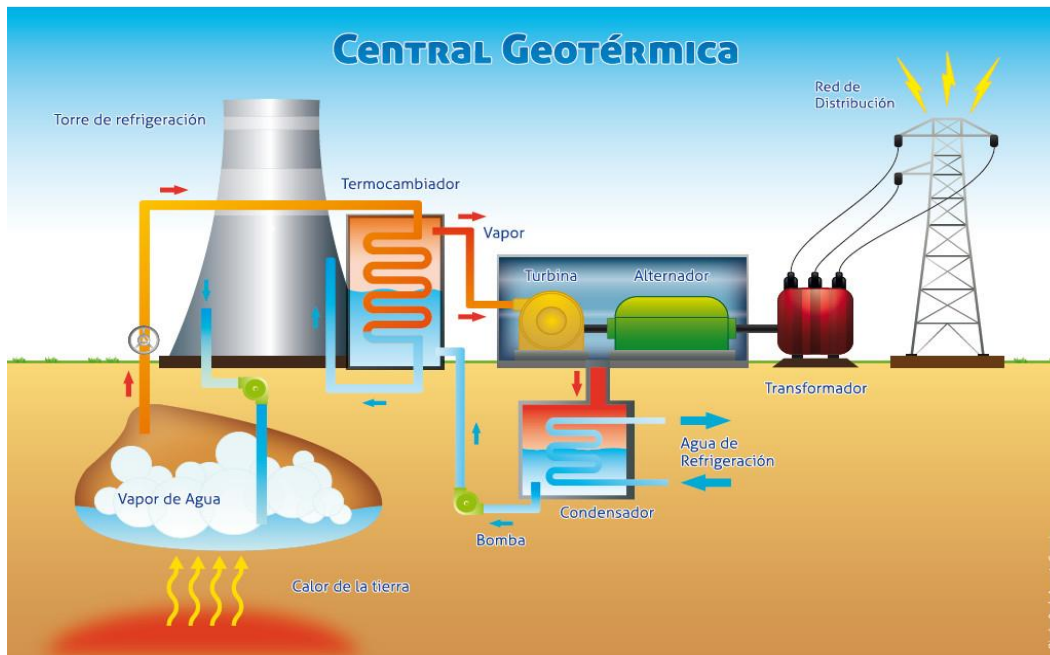


Ilustración 8 Funcionamiento de una central geotérmica.

Fuente: <https://bit.ly/2J1hlzS>

Las centrales eléctricas geotérmicas se pueden calcificar dependiendo de la temperatura, la profundidad y la cantidad del agua y del vapor extraídos:

- **Plantas geotérmicas de vapor seco:** De diseño muy simple y antiguo. Usan directamente el vapor a 150°C o más. Estas aprovechan directamente el vapor que sale del suelo para mover las turbinas.
- **Plantas geotérmicas de vapor flash o centrales de vapor de destello:** Estas usan el agua de las profundidades de la tierra, que se encuentra a unos 200°C. Hacen ascender el agua caliente a alta presión a través de pozos y los introducen en depósitos de baja presión, y debido a este cambio de presiones, por ley termodinámica, el agua se convierte en vapor. Lo que no se convierte en vapor, se regresa a los depósitos, haciendo un ciclo sustentable.
- **Plantas geotérmicas de ciclo binario:** Son las más actuales y pueden operar con fluidos de 57°C. El agua moderadamente caliente se hace pasar junto a otro fluido con el punto de ebullición muy inferior al del agua. Esto provoca que el fluido secundario se vaporice y se utiliza para mover las turbinas. Usan el ciclo de Rankine y el de Kalina. La eficiencia de estas es entre 10 y 13%

CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

- **Yacimientos geotérmicos:** El proceso natural para conformar un yacimiento es cuando el agua de la lluvia se filtra por el suelo formando depósitos subterráneos, y estos al estar en contacto con roca caliente, pueden alcanzar una temperatura de 370°C (convirtiéndose en vapor a presión), y esta puede ser aprovechada en una turbina para generar electricidad. Incluso se puede



conseguir un aprovechamiento continuo de los yacimientos inyectando el agua condensada (después de haber salido de la planta) al mismo yacimiento para que se vuelva a convertir en vapor a presión.

Las fuentes principales son:

- Volcanes.
- Fumarolas.
- Fuentes de agua caliente a presión.
- Geiser.
- **Gradiente térmico del interior de la tierra:** Como el aumento de temperatura aumenta de igual forma en todas las partes del planeta conforme se va descendiendo de la superficie, con este método no es necesario que existan yacimientos naturales, ya que se puede crear uno de forma artificial y hacer el mismo efecto que en el caso anterior.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- La principal ventaja es que se puede implementar en cualquier lugar del mundo, sin necesitar requisitos específicos para la instalación de la central.
- Genera bajos niveles de contaminación, en especial con los combustibles fósiles.
- Se tiene un aproximado de que es aprovechable 50000 veces más que el gas natural o petróleo.
- El costo de producción de esta fuente es menos a una planta de carbón o una nuclear.
- Puede generar la independencia de generación eléctrica de ciertos países con conexiones internacionales.

Desventajas:

- Los contaminantes que desprenden, en especial los géiseres, son el sulfuro de hidrógeno, arsénico y otros minerales. Aunque se puede evitar con el sistema binario.
- Algunos contaminantes pueden disolverse en el agua al momento de que esta es usada, como metales pesados.
- Al igual que se pueden instalar centrales en cualquier lugar del mundo, hay que tener una buena administración o control del uso de este tipo de energía, ya que el exceso de uso de la zona, podría generar el desgaste o el agotamiento prematura. Al igual que, si se tiene una zona idónea para la instalación de una central de este tipo, puede llegar a contribuir a la deforestación.

BIOMASA

La biomasa es cualquier materia orgánica, ya sea animal o vegetal, que contiene principalmente carbono, hidrógeno y cantidades variadas de oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, etc., generando energía utilizable, y esta energía tiene como origen el sol. En pocas palabras, la fotosíntesis es la que genera este tipo de energía para obtener la biomasa. Gracias a la fotosíntesis, se sintetiza el dióxido de carbono en glucosa y oxígeno, que es lo que permite la obtención de energía (calorífica), ya que el oxígeno es un comburente.

La biomasa se puede liberar de dos formas:

- **Combustión directa:** Cuando se quema madera, hojas y ramas secas. Se aplica a las biomásas de bajo contenido de humedad.
- **Combustión indirecta:** En cuando se aplica a biomásas con alto contenido de humedad, como la extracción de alcohol para su posterior combustión.

Hay que considerar que el petróleo y el carbón (no vegetal), aunque sean de origen orgánico, no se consideran como biomásas, ya que tuvo que pasar millones de años para ese producto final. En cambio, las ramas, madera seca o carbón vegetal, no tiene que pasar mucho tiempo para poder obtener energía de ellos, por lo que se consideran renovables.

Otra forma de clasificar a las biomásas es la siguiente:

- **Biomasa natural:** Restos de árboles.
- **Biomasa residual seca:** Residuos orgánicos derivados de la madera industrializada, como el aserrín, viruta, paja, etc.
- **Biomasa húmeda:** Materia orgánica líquida, como los purines de la actividad agrícola, aguas negras, las vinazas (al fabricar alcohol), alpechines (aguas de vegetación), residuos de la extracción de aceite de oliva.
- **Cultivos energéticos:** Plantaciones de semillas, pero sin el fin alimenticio, más bien, con la extracción de sus aceites poder hacer combustibles vegetales, como es el caso de los girasoles, maíz, caña de azúcar, entre otros.
 - **Cultivos tradicionales:** Son similares a los destinados a la alimentación humana.
 - **Cultivos raros:** Son cultivos de especies de vegetales que se pueden cultivar en condiciones anormales, como los cardos, helechos, etc.
 - **Cultivos en agua:** La producción de plantas acuáticas, como las algas.
 - **Cultivos de plantas productoras de combustibles líquidos:** Destinadas principalmente para extraer su aceite y convertirlo en combustible industrializado, como es el caso de las palmeras, las jobos, etc.

Para poder convertir las biomásas resultantes en energía, existen dos métodos principales:

- **Procesos termoquímicos:**
 - Combustión



- Pirólisis
- Glasificación
- Procesos combinados
- **Procesos biológicos:** En este proceso se usan microorganismos, los cuales descomponen la materia en moléculas simples, pero de un alto contenido energético y se consiguen cuando la biomasa tiene un alto contenido de agua. Por ejemplo, en la producción de alcohol etílico.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- Se eliminan residuos mientras que, al mismo tiempo, se les da un uso energético.
- Es una energía renovable, como siempre existen residuos, se puede contar con este tipo de energía a largo plazo.
- Disminuye la cantidad de emisiones de CO₂, ya que para algunos productos se necesita de la combustión, no emana más CO₂ de lo que la planta consumió. En pocas palabras, no existe incremento de dicho gas.
- No libera sustancias contaminantes como productos sulfurados o nitrogenados, ni partículas sólidas.
- En un futuro no muy lejano, será la principal fuente de energía, sustituyendo a los combustibles fósiles.
- Tiende a producir un aumento económico al campo.

Desventajas:

- Actualmente no existen muchos lugares los cuales produzcan este tipo de energía.
- Algunos cultivos tendrán prioridad al uso energético que al consumo humano.

ENERGÍA DE HIDRÓGENO

El hidrógeno es el elemento más abundante de la tierra y del universo, ya que es el elemento más sencillo que existe, conformado únicamente por un protón y un electrón.

Una de las aplicaciones que se le da al hidrógeno como combustible actualmente es en los transbordadores espaciales. La ventaja de usar este como combustible, es que su subproducto es agua pura, que se puede usar para el consumo humano, al contrario de los combustibles fósiles que tienen como resultado de su aprovechamiento dióxido de carbono, que es venenoso para el humano.

MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO

Una de las desventajas de este tipo de energía, es que el hidrógeno no se encuentra aislado (por su naturaleza), por lo que se debe de extraer de compuestos que lo tengan, como el agua y los combustibles fósiles (que estarían cayendo de nuevo en la dependencia de estos).

El hidrógeno se puede extraer de las siguientes formas:

- **Reformando el vapor:** A través de una corriente de vapor de agua sobre gas metano, a temperaturas entre 700 a 1000°C se produce una reacción teniendo como resultante dióxido de carbono y tres moléculas de hidrógeno puro. Se debe realizar a una presión de 20 atm ya que a esa presión el hidrógeno es más manejable.
- **Electrolisis:** A través de una corriente eléctrica directa en el agua, separa los componentes de ésta rompiendo su enlace covalente. La desventaja de este método es que es muy caro su producción para la cantidad de hidrógeno que se obtiene.
- **Síntesis biológica:** Con la ayuda de microorganismos anaerobios, consumen materia orgánica y al momento de descomponerla, liberan oxígeno (caso contrario a los organismos aerobios que liberan dióxido de carbono), gracias a su enzima especial llamada “hidrogenasa”

Actualmente el uso del hidrógeno como un tipo de energía es limitado por la falta de desarrollo de sus tecnologías de aprovechamiento y de sus aplicaciones, unas cuantas son:

- Refinado de combustibles fósiles.
- Obtención de amoníaco
- En el tratamiento de metales.
- En la industria alimentaria.
- En la producción de metanol y de ácido clorhídrico.
- Como escudo de gas en trabajos de soldadura.
- Como combustible de viajes espaciales.

PILAS DE COMBUSTIBLE

Son dispositivos diseñados para la producción continua de energía a partir de hidrógeno o produciéndolo en su interior por medio de fuentes externas como el metanol, metano, gasolina, etc. También son conocidas como “células” que están formadas de 45 de éstas formando una pila.

El rendimiento de estas baterías es alto, ya que convierte directamente la energía química en energía eléctrica. Lo más que se ha podido llegar de rendimiento en la actualidad es del 50% con un voltaje teórico de salida de 1.23 V por celda. Las baterías que están en uso actual en automóviles es del 22% si el hidrógeno está en estado gaseoso en presiones altas y del 17% si está líquido. Igualmente existen diferentes tipos de baterías de este combustible:

- Estacionarias
- Portátiles
- Reversibles



- Mezcla de carbonatos
- Membrana de intercambio de protones
- Membrana de solución alcalina
- Pila de combustible de óxido de zirconio sólido
- Pila de combustible de ácido fosfórico

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- Es una fuente inagotable de energía.
- El uso de esta da como resultado agua potable útil para cualquier tipo de uso ya sea humano, agrícola o industrial.
- Tiene mayor capacidad que otros tipos de energía.

Desventajas:

- En cara su producción por la relación de cantidad de energía empleada para poder extraer la misma de hidrógeno.
- La tecnología de aprovechamiento apenas está emergiendo, por lo que aún no se puede tener el máximo rendimiento deseado en la extracción y consumo de hidrógeno como energía.
- Aún se necesitan de combustibles fósiles para su extracción, por lo que pierde la propiedad de energía limpia.

ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

Para que una fuente de energía sea considerada como energía limpia, sus emisiones de CO₂ deben de ser menos a 100 kg por cada MWh generado³.

Gracias a la ubicación geográfica de México, tiene diversas condiciones geográficas y climáticas, las cuales, favorecen al uso de energías limpias como la solar, eólica, las del mar, hidráulicas, yacimientos geotérmicos, depósitos de gases naturales, etc.

La capacidad instalada de energías renovables, en el país, para la generación de electricidad se identifica para servicio público y para instalaciones de autoabastecimiento privado y de pequeña producción.

³ De conformidad con lo establecido en el artículo Décimo Sexto Transitorio de la Ley de Transición Energética.

Tabla 5 Capacidad instalada de generación de energía eléctrica.
Fuente: CFE

Capacidad instalada para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables en México, 2012		
Tipo de generación	Capacidad instalada (MW)	Porcentajes (%)
Hidráulica	11,266.778	81
Eólica	1,214.70	8.5
Geotérmica	958	6.7
Biomasa	547.90	3.8

Hidráulica:

Los países con mayor producción de energía hidráulica son China, Canadá, Brasil, Estados Unidos y Rusia, con la cual generan más del 50% de la energía hidroeléctrica en el mundo. México se ubica entre los primeros 20 países con mayor generación⁴.

La generación de energía por centrales hidroeléctricas se clasifica en:

- Micro ≤ 100 kW
- Mini $100 < \text{kW} < 1000$
- Pequeña $1 \leq \text{MW} \leq 30$

En México existen 64 centrales hidroeléctricas (20 grandes y 44 pequeñas), y suman un total de 178 unidades generadoras con una capacidad de 11266.778 MW, por lo que representa el 29.5% de la capacidad efectiva instalada por la CFE. Las presas más modernas son la de “El cajón” y “La Yesca” de 750 MW cada una, ubicadas en el Río Santiago en Nayarit, y se planea construir una nueva (“Las Cruces” de 240 MW). El sistema más grande instalado en el país se encuentra en el Río Grijalva, donde están las presas “La Angostura”, “Chicoasén”, “Malpaso” y “Peñitas”, con una capacidad conjunta de 3907 MW. Algunos proyectos que se tenían contemplados en el Río Usumacinta fueron cancelados por grupos locales.

La energía hidroeléctrica juega un papel fundamental en la generación y balanceo de energía eléctrica dentro del país, ya que, es la que mayor capacidad tiene instalada y proporcional la mayor cantidad de esta a nivel nacional (véase tabla anterior).

Algunos estados donde existen centrales de este estilo son:

- | | | |
|-------------|-------------|-------------------|
| • Chihuahua | • México | • Sinaloa |
| • Chiapas | • Michoacán | • San Luis Potosí |
| • Guerrero | • Nayarit | • Sonora |
| • Hidalgo | • Oaxaca | • Veracruz |
| • Jalisco | • Puebla | |

⁴ TOP 20 Electricity Generating Countries, The Shift Project Data Portal (<http://www.tsp-data-portal.org/>). REN21 2015 (<http://www.ren21.net>).



Algunos estudios permiten conocer, por las investigaciones llevadas por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), identificaron, en la sierra norte de Puebla y Veracruz, un potencial estimado de 364 MW de potencia media y 61 MW de potencia instalada, con una generación media anual de más de 3,526.1 GWh/año (Fuente: CONUEE).

Por otro lado, la SENER, en su estudio “Estimación del Recurso para la Pequeña, Mini y Micro hidroenergía: Aplicaciones en México” establece que el potencial de este tipo de generación es de aproximadamente 2,800 MW de potencia media, con una producción de 9.79 TWh/año⁵, con base en referencias internacionales y del potencial establecido por la CFE para plantas con generación mayor a 40 GWh/año.

Eólica:

En diciembre de 2015 se celebró el Acuerdo de París⁶, con 190 países, entre ellos México, fueron participes en la ratificación y firmaron el documento en octubre de 2016, el cual, entró en vigor el 22 de noviembre de 2016. Este acuerdo tiene como propósito reducir el calentamiento global, obligando a los participantes a optar por energías limpias y renovables, que principalmente son la fotovoltaica, eólica y de biomasa.

China es el país con mayor capacidad instalada, en este tipo de energía, a nivel mundial, con 150 GW a finales del 2015. En segundo lugar esta Estados Unidos con más de 75 GW, y en tercer lugar esta Alemania con 45 GW instalados, seguido de India y España⁷. México se ubica dentro de los primeros 20 primeros países con mayor generación de energía eólica.

Los gobiernos de Dinamarca y México, en el 2014, firmaron un acuerdo de colaboración bilateral dentro del Programa de Energía y Mitigación del Cambio Climático, el cual incluye elaborar un Atlas Eólico de México (AEM), enfocado a identificar lugares que son apropiados para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica eólica en pequeña, mediana y gran escala. De igual forma, el AEM facilitará la exploración del recurso eólico mexicano y su intención principal es brindar a la sociedad, inversionistas y desarrolladores, una plataforma accesible y gratuita que contenga información confiable y validada bajo estándares internacionales. Esta transparencia de información permitirá, también, acelerar las inversiones para el desarrollo de este tipo de energía en el país.

A finales del 2011, la CFE tuvo una operación en las centrales de La venta en Oaxaca de 84.7 MW, Guerrero Negro en Baja California Sur de 0.3 MW y el generador de la COP 16 de 1.5 MW, que en total se tuvo una generación de 86.8 MW (Fuente: CFE). Igualmente, en este año,

⁵ Valdés H. (2005). Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía: Aplicaciones en México. Cuernavaca, Valdés Ingenieros, 19.

⁶ También existe el Protocolo de Kioto iniciado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón. La decimoctava Conferencia de las Partes sobre el cambio climático (COP18) ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto de enero de 2013 hasta diciembre de 2020

⁷ Global Wind Report: Annual Market Update 2015.

siete plantas entraron en operación, ubicadas en Baja California y Oaxaca, con una capacidad autorizada total de 588.3 MW y una generación autorizada anual de 2,063.59 GWh/año.

En el 2012 entraron en operación 3 plantas en la modalidad de productor independiente de energía, ubicadas en Oaxaca, al igual que 17 plantas empezaron su construcción en Baja California, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz con 2,281.0 MW autorizados de capacidad.

En el 2014, se tuvo una inversión del 40% más que el año anterior (2,100 mdd) según el informe de Tendencias globales de inversión en energías renovables del 2015 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, situando a México por arriba de economías como Indonesia (1,800 mdd), Turquía (1,800 mdd), Chile (1,400 mdd) y Kenia (1,300 mdd). En 2015, México tuvo una capacidad instalada de 3.073 GW con 1,770 aerogeneradores. En México, hasta el 2016, la inversión en energía eólica fue de, aproximadamente, 6,000 mdd con 3.8 GW con más de 2,000 aerogeneradores.

El objetivo del país es llegar a una capacidad instalada de 15 GW en aerogeneradores para el 2022, lo cual implica tener un crecimiento en esta clase de energía del 400%. Gracias al uso de la energía limpia, se ha logrado disminuir el precio de kW/hr producido. Es de los principales logros de la Reforma Energética y de las subastas celebradas en 2016, por lo que ahora, en México el MWh está aproximadamente en 30 dólares.



Ilustración 9 Capacidad total deseada a instalar de energía eólica en México para el 2020.
Fuente: <https://bit.ly/2Eu4ha9>



De acuerdo con ciertos estudios de la IIE, las regiones para el mejor aprovechamiento de este tipo de energía son en la zona del Istmo de Tehuantepec en la costa del Golfo de México (zona norte), en parte, en la Península de Baja California y la Península de Yucatán. Para Oaxaca, los estudios del National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos, han estimado un potencial superior a los 10,000 MW⁸.

Geotérmica:

México cuenta con 8 centrales geotermoeléctricas, representan el 1.4% de la capacidad total y 2.0% de la generación de electricidad del país (hasta el 2015), lo cual lo coloca dentro de los primeros cinco países con mayor capacidad instalada, junto con Estados Unidos, Filipinas, Indonesia y Nueva Zelanda⁹.

Los campos geotérmicos se ubican en los estados de Baja California, Baja California Sur, Michoacán y Puebla, en los dos últimos se localizan en el Eje Volcánico Transversal que es una zona volcánica en la cual se concentra el recurso geotérmico.

Durante el 2015 se otorgaron 6 concesiones para la explotación de zonas geotérmicas en Cerro Prieto en Baja California, Los Azufres en Michoacán, Los humeros en Puebla, Tres Vírgenes en Baja California Sur y Cerritos Colorados en Jalisco, otorgados a la CFE, y Domo de San Pedro en Nayarit otorgado a un particular. También se otorgaron 15 permisos de explotación de recursos geotérmicos (4 en Jalisco, 4 en Michoacán, 2 en Nayarit, 2 en Baja California, uno en Guanajuato, Puebla y Chiapas).

En México, la CFE, a través de su Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG), hasta el 2016, venía operando cuatro campos geotérmicos de tipo hidrotermal con una capacidad aproximada de 931 MW. Por otra parte, la empresa privada “Grupo Dragón” opera en el campo “Domo San Pedro” e Nayarit con una capacidad de 10 MW con 230 pozos de producción que alcanzan entre los 1,500 y 3,500 metros de profundidad.

Tabla 6 Principales plantas geotérmicas en México.

Fuente: CFE [6]

Campos del país	Capacidad instalada (MWe)
Cerro prieto, Baja California	570
Los Azufres, Michoacán	2,458
Los Humeros, Puebla	94
Los Tres Vírgenes, Baja California Sur	10
Domo San Pedro, Nayarit	10

⁸ Elliott, D. M. Schwartz, et al. (2004), Atlas de Recursos Eólicos Del Estado de Oaxaca, National Renewable Energy Laboratory: 138.

⁹ TOP 20 Electricity Generating Countries, The Shift Project Data Portal (<http://www.tsp-data-portal.org/>)



Ilustración 10 Mapa de recursos geotérmicos de México.
Fuente: IIE

Estudios recientes, aplicando un modelo con simulación Montecarlo, indica que el potencial de recursos hidrotermales susceptibles de ser explotados mediante plantas de condensación y plantas de ciclo binario, se encuentra entre 887 y 948 MWe¹⁰.

Bioenergía:

México cuenta con 70 plantas generadoras de este estilo, que representan el 1.1% de la capacidad total instalada del país. Durante el 2015 se produjo 1,639 GWh usando biocombustibles.

Los estados de Veracruz, Nuevo León y Jalisco concentran casi el 55.8% de la capacidad total de esta tecnología debido a los residuos azucareros y del procesamiento de los residuos sólidos urbanos.

La bioenergía es la energía derivada de la conversión de la biomasa, la cual puede ser utilizada directamente como combustible o transformada en líquidos y gases (biogás) que se usan en la generación de electricidad, a través de un proceso convencional.

¹⁰ Hiriart G. (2011). Evaluación de la Energía Geotérmica en México, Informe para el BID. México: 19.

**CAPÍTULO 3 INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS (ISF);
COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO**

ENERGÍA SOLAR

La principal fuente donde se extrae energía renovable es el sol, ya que se calcula que quedan unos 5 mil millones de años de vida para que el sol quemara todo su combustible. No solo se utiliza para generar energía eléctrica, también se usa como fuente calorífica.

Diariamente, llega al planeta 0.7 trillones de kWh desde el sol y la atmósfera terrestre retiene un 47% de esta energía. Gracias a esta energía existen los vientos, las olas y mareas que también pueden ser aprovechadas como generadores de energía eléctrica y son renovables.

La energía solar se puede aprovechar de diversas formas:

- **Instalaciones solares térmicas:** con las que se capta la energía calorífica del sol para calefacciones, calentamiento de agua, cocinas, etc. También son conocidas como instalaciones solares pasivas. Los componentes necesarios son:
 - Un sistema de captación (paneles solares).
 - Un sistema de acumulación (depósitos de agua caliente).
 - Un circuito hidráulico (tuberías, bombas, válvulas, etc.).
 - Un sistema de transferencia de energía captada desde los captadores al agua.
 - Un sistema de regulación y control.
 - Un equipo de energía convencional auxiliar para completar la contribución solar, suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda.
- **Instalaciones solares fotovoltaicas:** con ellas se logra convertir la energía lumínica del sol en energía eléctrica a través de paneles solares. También conocidas como instalaciones solares activas.
- **Instalaciones solares termoeléctricas:** Es la combinación de las dos instalaciones anteriores.

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA (ISF)

Una instalación fotovoltaica requiere diferentes componentes para su correcto funcionamiento. Se necesitan realizar sus respectivos cálculos para adecuar el sistema a la cantidad de energía eléctrica para que ésta sea continua sin excedentes, evitando una inversión inicial elevada o que haga falta para alimentar la instalación.

Existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas, las “Conectadas a la red” y las “Aisladas de la red”.

- **Interconectadas a la red (Grid – tie):** Son los que parcialmente o en su totalidad, envían energía eléctrica a la red eléctrica nacional para ser aprovechada en la etapa de generación de un sistema de potencia. Algunas de estas instalaciones son: Huertos solares, edificios fotovoltaicos, etc. En México se instalaron 17 huertos solares con una inversión de 38.5 MDP que abastece a aproximadamente 2172 casas en los municipios de Topia, Canelas, Tepehuanes y Santiago Papasquiaro [7].

Tiene dos variantes:

- Conmutación automática del suministro entre solar y convencional en función a la demanda.
- Sectorización. Los equipos de bajo consumo se alimentan con energía solar y el resto con la convencional.



Ilustración 11 Huerto solar de CFE instalado en Durango.

- **Aisladas a la red (Autónomas o islas) (Off – grid):** Son las que no tienen ningún tipo de conexión a la red eléctrica nacional, son totalmente independiente para el uso privado. De igual forma, como los sistemas de energía independientes que se usa en zonas aisladas a la conexión nacional para telecomunicaciones, bombeo de agua de riego, equipos de señalización, equipos de sonido, equipos de cómputo, sistemas de alumbrado público, teléfonos públicos y todo equipo que utilice energía eléctrica.
 - **Aplicaciones espaciales:** Sirven para proporcionar energía eléctrica a objetos creados por el ser humano y puestos en el espacio como satélites, la Estación Espacial Internacional, etc.
 - **Aplicaciones terrestres:** En las cuales se pueden destacar las siguientes
 - Telecomunicaciones.
 - Sistemas eléctricos en zonas rurales y aisladas.
 - Señalizaciones
 - Alumbrado público
 - Redes VSAT
 - Telemetría
 - **Edificios fotovoltaicos:** En los edificios modernos es más rentables ocupar paneles solares, no solo en la azotea, sino también ya dentro de la estructura o fachada de este por abarcar una gran área de aprovechamiento (la integración arquitectónica consiste en combinar la doble función, como elemento constructivo y productor de electricidad). La energía genera es usada para los sistemas de seguridad, iluminación interna o como sistema de emergencia en caso de un corte de suministro.

- También pueden ser en paralelo y asistido. El primero, el usuario tiene alimentación tanto de la red pública como de sus generadores fotovoltaicos, y la segunda es cuando no es suficiente la instalación fotovoltaica y se necesita del apoyo de la red pública.

COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En la siguiente figura se reflejan los elementos básicos de una instalación fotovoltaica común, la cual está compuesta de cuatro elementos fundamentales:

- Panel o módulo fotovoltaico.
- Regulador de carga.
- Batería o acumulador.
- Inversor.

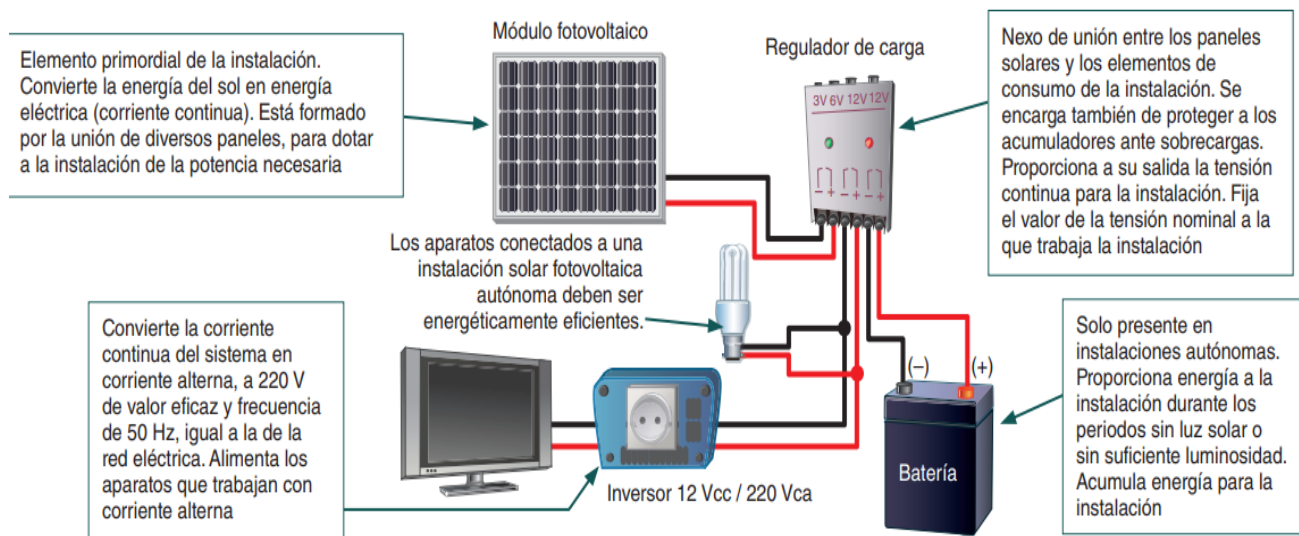


Ilustración 12 Componentes básicos de una instalación fotovoltaica

PANEL SOLAR

El panel o módulo fotovoltaico es un conjunto de células solares interconectadas entre sí y representa la parte principal de una instalación fotovoltaica. Proporcionan una tensión de salida de valores comerciales de 6, 12, 14, 24 V en continua. Está compuesto de varias células solares que realizan el trabajo de convertir la energía solar a energía eléctrica.

Todos los paneles solares funcionan por el principio del fenómeno fotoeléctrico para poder generar la energía eléctrica a partir de sus componentes de silicio.

EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

Los átomos están constituidos por electrones, protones y neutrones. Los electrones, que están situados en los orbitales de los átomos, están situados en cierto nivel de energía mínima estando lo más cerca posible del núcleo. Cuando el átomo recibe energía del exterior, entra en un estado de “excitación” y cuando un electrón en la órbita exterior capta esta, se sitúa en un nivel de energía mayor y si la cantidad de esta energía es suficiente, el electrón puede llegar a abandonar el átomo, y el flujo constante de estos electrones genera una corriente eléctrica en un conductor. Algunos elementos son foto sensibles como el silicio (también el boro y el fósforo).

El desprendimiento de electrones de un material al ser iluminado o irradiado con una cierta frecuencia fue observado en el s. XIX por Hertz Hallwachs y se considera fenómeno fotoeléctrico o emisión fotoeléctrica. Sus características son:

- “Para cada sustancia hay una frecuencia mínima o umbral de la radiación electromagnética por debajo de la cual no se produce fotoelectrones por más intensa que sea la radiación.”
- “La emisión electrónica aumenta cuando se incrementa la intensidad de la radiación que incide sobre la superficie del metal, ya que hay más energía disponible para liberar electrones.”

La fórmula que describe estas dos características para que exista el fenómeno es:

Donde:

- λ es la longitud de onda.
- h es la constante de Planck.
- c es la velocidad de la luz.
- E_G es la anchura de la banda prohibida.

$$\lambda \leq \frac{hc}{E_G}$$

CÉLULA SOLAR

Es el elemento principal dentro del panel solar cuya característica principal es convertir directamente la luz solar en energía eléctrica (corriente directa).

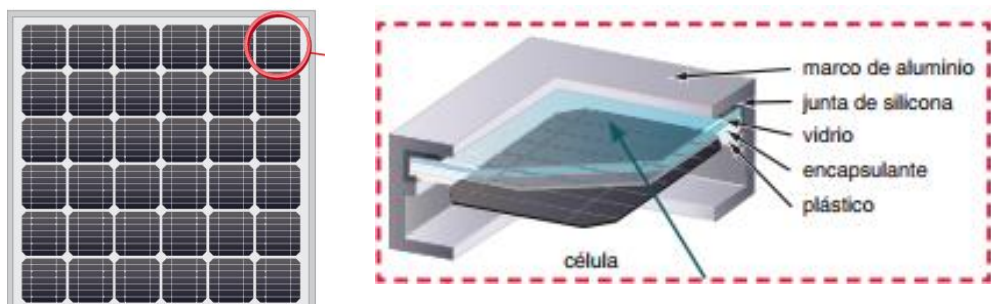


Ilustración 13 Célula solar

En los paneles solares, la tecnología de las células solares es diferentes y se pueden clasificar como en la siguiente tabla:

Tabla 7 Diferencia entre células solares según su tecnología de fabricación [8]

Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo
Monocrystalino	24%	15-18%
Policristalino	19-20%	12-14%
Amorfo	16%	<10%

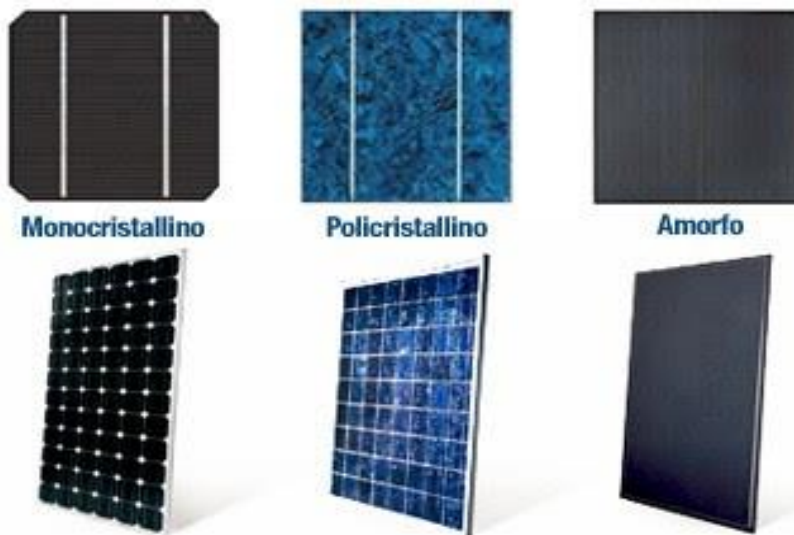


Ilustración 14 Tipos de paneles fotovoltaicos con diferentes tipos de células.

Fuente: <https://bit.ly/2IDGirx>

Monocrystalino.

Fueron las primeras en su tipo en la construcción de paneles fotovoltaicos en 1954. Son las células más eficientes. Son normalmente hexagonales. Vida útil de 25 años.

Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. Son de color oscuro uniforme. Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.

Su eficiencia es baja cuando la temperatura aumenta, como se puede apreciar en la tabla anterior, y tienen un precio mayor al policristalino.

Policristalino.

La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules y tienen un menor espesor, de algunas micras, pero su material tiene menos pureza y, por lo tanto, tiene menos rendimiento, como se puede ver en la tabla anterior.

Son menos eficientes que los monocrystalinos, pero en la práctica la diferencia disminuye. Son más económicos. Son de silicio impuro igual que el del monocrystalino,

pero se disminuye el número de fases de cristalización y su forma es, normalmente, rectangular.

Amorfo.

Son de bajo costo y de una capa más delgada, por lo que, se pueden hacer paneles flexibles con ellos.

En un principio, este tipo de células se usaba en relojes y calculadoras.

Son de color café homogéneo y su rendimiento está por debajo del 10%, como se puede ver en la tabla anterior.

Las células tienen un funcionamiento similar a un diodo: la parte N (el cátodo) está expuesto a la radiación solar, y la parte P (el ánodo) está en la zona oscura. Las terminales de conexión de la célula se encuentran sobre cada parte del diodo. La cara correspondiente a la zona P está metalizada completamente y la zona N tiene un metalizado en forma de peine con el objetivo de que la radiación llegue al semiconductor.

La célula se divide en las siguientes partes:

- El vidrio es el que recubre y protege las células como el panel solar de cualquier efecto meteorológico.
- El encapsulado protege el panel de la intemperie como la abrasión, la humedad, rayos UV y posibles vibraciones.
- El marco es el soporte que le proporciona rigidez a la estructura
- La junta de silicona.

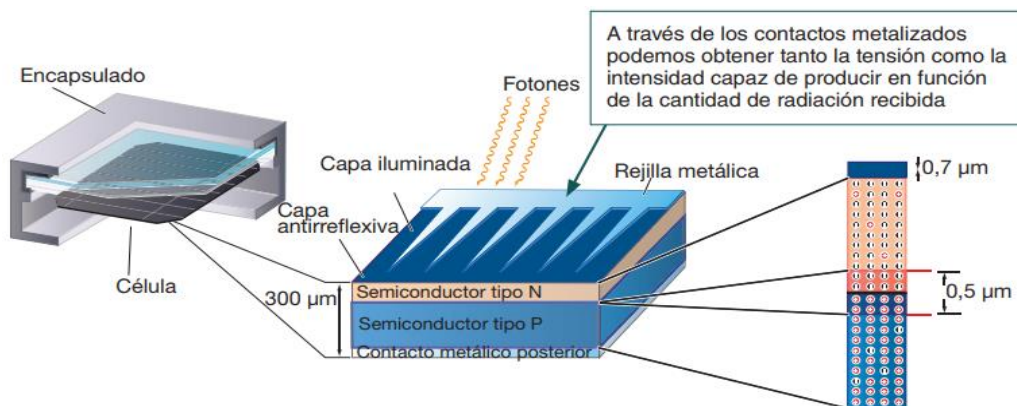


Ilustración 15 Estructura de la célula solar.

La célula tiene diferentes parámetros de funcionamiento según la captación de radiación, las cuales son:

- **Corriente de iluminación (I_L):** Es la corriente que genera cuando incide la radiación solar sobre la célula.

- **Corriente de oscuridad:** Es la corriente que se produce por la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el semiconductor.
- **Tensión de circuito abierto (V_{OC}):** Es la máxima tensión que se obtiene en las terminales de las células y se da cuando no tiene una carga conectada. Es una característica del material con el que está construida la célula.
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** Es la máxima corriente que puede soportar la célula. Es cuando las terminales están en cortocircuito.

Cuando se conecta una carga a la célula, los valores de corriente y voltaje varían dependiendo de ésta y son conocidos como V_M (voltaje máximo) e I_M (corriente máxima) que siempre serán menores al V_{OC} (voltaje o tensión de circuito abierto) y a la I_{sc} (corriente de cortocircuito) respectivamente. En función de estos valores, la potencia máxima que puede entregar una célula del panel estará dado por:

$$P_M = V_M I_M$$

Con esto se puede definir el factor de forma que es un parámetro de las células solares que es una relación entre la máxima potencia y el producto de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. En las células los valores de FF más típicos son 0.7 o 0.8, la cual se calcula:

$$FF = \frac{V_M I_M}{V_{OC} I_{sc}}$$

POTENCIA DE LA CÉLULA

La potencia eléctrica que puede entregar una sola célula solar de tamaño estándar (10x10 cm), es entre 1 o 2 W, por lo que se tiene que asociar varias de ellas para obtener una potencia de salida mucho mayor en un solo panel solar.

Existen dos formas de conectar las células solares entre sí para tener diferentes posibilidades:

- La conexión serie aumenta la tensión de salida en los extremos de la célula equivalente, pero la intensidad de corriente es la misma para todos los elementos conectados.
- La conexión paralela permite aumentar la intensidad de corriente total del conjunto, pero la tensión será la misma para todos los elementos.

En la siguiente gráfica se puede apreciar como varía la cantidad de voltaje y corriente de salida de varias células solares dependiendo de su conexión.

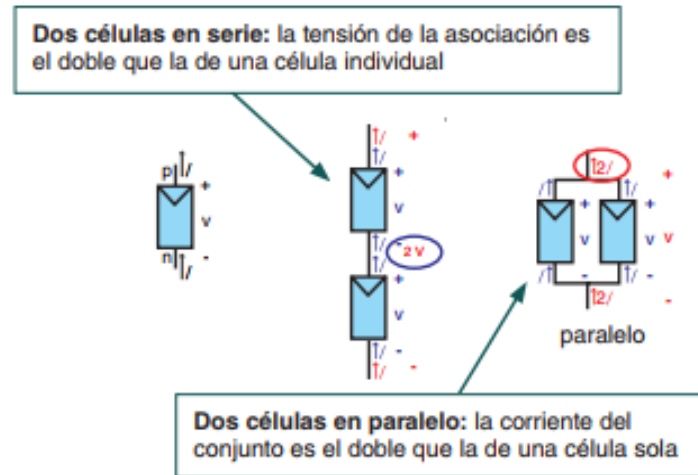


Ilustración 16 Tipos de conexiones de células solares.

Por lo cual, para poder obtener un mayor rendimiento de un panel, se necesitaría tener una conexión mixta (serie-paralelo), obteniendo el valor de voltaje y corriente de salida que se necesitaría.

Por ejemplo: Si se necesita que una instalación eléctrica esté alimentada con una tensión de salida de 6 V y una corriente máxima de 9 A. Las características de las células comerciales a usarse son la siguiente:

$$V_{OC} = 0.6 V$$

$$I_{SC} = 3 A$$

Dimensiones: 10 × 10 cm

Para empezar, se debe obtener el número de células en serie para obtener el valor de voltaje deseado (en este caso 6V), por lo que:

$$\frac{6 V \text{ deseado}}{0.6 V \text{ que entrega c/célula}} = 10 \text{ células de } 0.6 V \text{ c/u}$$

Y cada grupo (10 células) podrá proporcionar 3 A, por lo que se necesita saber cuántos grupos de 10 células se necesitan para la corriente deseada (9 A):

$$\frac{9 A \text{ deseados}}{3 A \text{ por c/grupo de células}} = 3 \text{ grupos de } 10 \text{ células c/u}$$

La configuración final del panel deseado sería la siguiente:

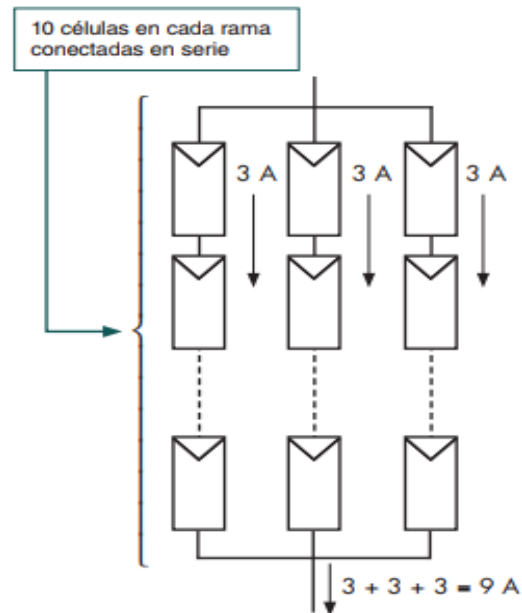


Ilustración 17 Configuración de panel solar que entrega 6V a 9A con células solares de 0.6V y 3A c/u.

REGULADOR DE CARGA

Para un mejor aprovechamiento de la instalación solar, entre el panel solar y los acumuladores se necesita colocar un regulador de carga, cuya función principal es evitar sobrecargas o sobredescargas de las baterías y así prolongar la vida útil de la instalación.

Trabaja simultáneamente mientras verifica que la carga del acumulador sea la ideal y evita la sobrecarga, ya que los paneles proporcionan una tensión superior a la capacidad de la batería, y aparte se ocupa de verificar que la carga usada diaria sea suficiente y no descargar excesivamente la batería.

Para el dimensionamiento de la instalación se toma como referencia la irradiación de invierno, ya que es cuando hay peores condiciones de luminosidad del sol. En verano la energía que proporcionan los módulos es casi el doble, por lo que si no se coloca un regulador de carga se corre el riesgo de dañar gravemente los acumuladores.

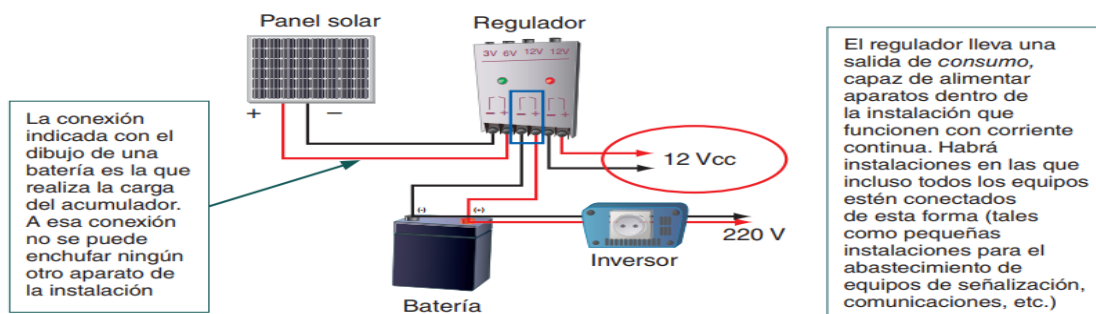


Ilustración 18 Esquema de conexión del regulador en la instalación.



El regulador controla la carga de las baterías en cuatro posibles pasos:

1. **Carga total:** Corresponde a la recarga completa durante las primeras horas de luz solar.
2. **Regulación:** Es el periodo normal de control de la carga de la batería conforme a la demanda de consumo.
3. **Flotación:** Es cuando la batería de la instalación está completamente cargada, el regulador pasa a este modo de vigilancia del consumo para actuar en correspondencia.
4. **Ecuilibración:** Corresponde esta prestación del regulador a un proceso de optimización de la carga de las baterías del tipo electrolito líquido para que produzca gas y remover con ello el sulfato de plomo, el cual tiende a estratificarse en las operaciones normales.

En las hojas de especificaciones, los fabricantes proporcionan valores para el trabajo de un regulador, algunos son:

- **Características físicas:** peso, dimensiones, material de construcción, etc.
- **Características eléctricas.**
 - La **tensión nominal** de operación, que corresponde con la tensión nominal de los acumuladores, se puede configurar.
 - La **corriente máxima de generación**, que es la corriente recibida desde los paneles.
 - La **corriente máxima de consumo**, es la corriente que proporciona a la parte de la instalación donde se van a conectar las cargas.
 - **Pérdida máxima generación/consumo:** es un valor relacionado con las caídas de tensión internas. Es importante estar atentos de estas, ya que la modificación de tensiones puede producir pérdidas de energía.
 - La **sobrecarga** es el porcentaje del valor nominal que aguanta el regulador sin estropearse.
 - **Autoconsumo:** es la cantidad de energía que requiere el regulador para su funcionamiento. Regularmente, viene en valores de corriente (<30 mA, por ejemplo). Este valor se debe tomar en cuenta a la hora de hacer el dimensionamiento de una instalación.
- **Normas de seguridad que cumple.**
- **Medidas de seguridad** (mantenimiento).
- **Tipos de alarmas.**
- **Acumuladores compatibles.**
- **Protecciones.**
- **Tipo de regulación** (serie o paralelo).
- **Temperatura de operación.**

Igualmente, los fabricantes proporcionan una serie de especificaciones técnicas que son importantes a tomar en consideración:

Tabla 8 Características eléctricas del inversor [10]

Parámetros	Descripción
Tensión nominal (V)	Representa el valor de la tensión de entrada al regulador. Algunos equipo admiten 12, 24 o 48 V.
Corriente máxima de generación (I_{MAX})	Indicación de la corriente máxima que puede proporcionar el generador conectado al regulador.
Corriente máxima	Indicación de la corriente máxima que puede proporcionar el equipo a la carga.
Corte alto (U_{MAX})	Indicación del estado de corte de la carga de la batería cuando alcanza una determinada tensión máxima.
Corte de flotación (U_{FLOT})	Parámetro que indica el nivel de tensión al que se produce en el regulador la conmutación al modo flotante.
Rearme alto (U)	Indicación del nivel de tensión al que se produce en el regulador el rearme.
Rearme de flotación (U_{FLOT})	Indicación del nivel de tensión al que se produce el rearme del regulador al modo flotación.
Corte bajo (U_{MIN})	Indicación del estado de corte de la carga de la batería cuando la tensión en sus bornes alcanza el mínimo especificado.

Existen dos tipos de regulación de carga: la paralela y la serie.

- El modo paralelo (shut), usa un transistor que deriva la corriente de los paneles hacia una carga resistiva de disipación, así permite establecer valores de voltaje de batería para los que esta desviación se hace de manera intermitente para lograr mantener cargada la batería al máximo.
Provoca calentamiento del regulador, lo que puede generar pérdidas y desgaste, por lo que regularmente se usan en corriente bajas.
- El modo serie funciona interrumpiendo la corriente a la batería, en función de su voltaje. La corriente de flotación se puede hacer manteniendo un nivel bajo de intensidad de carga o bien conmutando momentos de carga y momentos de no carga para favorecer a gasificación de la batería¹¹.
No disipan calor y pueden ser pequeños para ir montados en lugares cerrados.

¹¹ El efecto de gasificación es la evidencia de las reacciones de intercambio iónico, que ocurren al interior de una batería con tecnología Gel, AGM o de electrolito líquido.



BANCO DE BATERÍAS

Ya que a veces la luminosidad no es la suficiente para que un panel fotovoltaico produzca la cantidad de energía necesaria se usan los acumuladores donde, en estas épocas, la energía faltante se compensa con la guardada.

Las baterías tienen tres características principales:

- Almacenar energía.
- Proporcionar potencia instantánea elevada.
- Fijas la tensión de trabajo de la instalación.

Los acumuladores o baterías deben tener ciertas características específicas de acumulación y de índices de carga con el panel fotovoltaico y descarga sobre las aplicaciones, por lo que se opta mayormente las de tipo plomo – ácido.

Estas baterías están compuestas por células con dos electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. Cada celda proporciona una tensión de 2 V. El electrolito puede estar en forma líquida o de gel, usando este último como medida de seguridad ante posibles derrames. Uno de los electrodos de la batería es de dióxido de plomo y corresponde al ánodo (polo positivo), y el otro es de plomo para el cátodo (polo negativo).

Las especificaciones eléctricas que debe tener son las siguientes:

- **Tensión.** Indicación de la tensión de trabajo.
- **Capacidad (C_x/Ah).** Parámetro que indica la cantidad de carga o energía que se puede extraer de la batería en una descarga completa partiendo de una carga completa en un determinado número de horas a 25°C, y hasta que la tensión en sus bornes alcance los 1.85 V por celda.

Se mide en Ah (ampere – hora), que es el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo que está actuando, se puede apreciar en la siguiente fórmula:

$$C = t(I)$$

Por ejemplo: si en una instalación que ocupa 12 V, se tiene un acumulador de 200 Ah, el tiempo de descarga con una carga de 120 W se calcula de la siguiente forma:

Se calcula primero la corriente que circulará por el circuito:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{120 W}{12 V} = 10 A$$

Ya con esto, se puede conocer el tiempo de descarga:

$$t = \frac{C}{I} = \frac{200 Ah}{10 A} = 20 \text{ horas}$$

- **Capacidad útil.**
- **Estado de carga.** Parámetro que representa el cociente entre la capacidad de la batería, generalmente parcialmente descargada, por la capacidad nominal.

Se indica comúnmente con los caracteres SOC (State Of Charge).

$0 < SOC < 1$

Si SOC = 1 la batería está totalmente cargada.

Si SOC = 0 la batería está totalmente descargada.

Se cuantifica en porcentaje.

- **Profundidad de descarga (PD).** Parámetro que relaciona la capacidad nominal y la intensidad de corriente a la que se realiza la carga o la descarga de la batería. Indica comúnmente en horas, con un subíndice del signo de capacidad y de la corriente a la que se realiza el proceso de carga o descarga. Así, si una determinada batería de 200 Ah se descarga en 25 horas a una corriente de 8 A, el régimen de descarga es C25 = 200 Ah y para la corriente I25 = 8 A. Las unidades de la profundidad de descarga (DOD, Depth of Discharge), son inversas a las SOC, por lo que, en las DOD, 0 = lleno y 200 Ah = vacío.
- **Régimen de carga o descarga**
- **Ciclos de vida**
- **Autodescarga.** Es la pérdida de energía que experimenta las baterías cuando están inactivas. Su valor depende del tipo de batería empleada y de la temperatura a la que esté sometida. Se indica en porcentaje - mes.

A partir de esta batería, se tienen diversos tipos:

Tabla 9 Clasificación de acumuladores según sus características [11]

Tipo de batería	Descripción
Ácido abiertas	Son el modelo básico, con tapones de rellenado para el agua destilada.
Ácido selladas (herméticas)	Son las denominadas baterías estacionarias (no se pueden rellenar con agua destilada). Pueden tener una vida útil menor por la imposibilidad de mantenimiento.
Gel selladas (herméticas)	Igualmente, no se les puede dar mantenimiento y el ácido está en forma de gel para evitar el derramamiento del ácido.
AGM selladas (herméticas)	El gel está en forma de masas esponjosas y de igual forma no se le puede dar mantenimiento. Incluyen válvula de protección (VRLA "Valve Regulated Lead Acid" o "Baterías de plomo-ácido con válvula de regulación). Tienen una vida útil más larga de la común.

Para poder asociar baterías en paralelo o en serie, se usa la misma técnica de los paneles fotovoltaicos. En serie se suma la tensión manteniendo la corriente, y en paralelo se suma la corriente manteniendo la tensión.

Una de las únicas condiciones es que los cables de conexión sean lo más cortos posibles y que su calibre corresponda la cantidad de carga.



Cuando se elige un acumulador para una instalación fotovoltaica, siempre se debe tener en cuenta el efecto de la temperatura del ambiente, ya que, mientras la temperatura sea mayor, la capacidad aumentará, e inversamente, si la temperatura es baja, la capacidad de éste, tenderá a disminuir, por lo que, en estos casos, se optaría instalar uno de mayor capacidad a la calculada para que no exista problemas de funcionamiento.

INVERSOR

Estos dispositivos que se encargan de convertir la corriente directa que proporcionan los paneles en corriente alterna.

Los inversores se pueden usar de dos formas: para producir la energía en forma de alterna que requerirá la instalación de una casa (instalación autónoma) o si cumple con los parámetros de calidad de la compañía suministradora de energía, se puede conectar directamente a la red eléctrica (conectados a la red).

Los inversores para conexión a red proporcionan corriente alterna con la continua procedente del panel fotovoltaico. Su característica principal es que pueden inyectar la energía generada a las redes de suministro al mismo tiempo que se está generando de los paneles sin necesidad de que exista un regulador y acumuladores de por medio. Es necesario que dispongan de un seguidor de punto de máxima potencia, el cual es un adaptador eléctrico que hace trabajar a los paneles en la zona de la curva característica donde, entregan la máxima potencia, independientemente de la carga conectada al panel.

Aunque también, los inversores pequeños, menores a 1 kW, son empleados para el uso en viviendas para el consumo local, disminuyendo la potencia aportada del suministro externo. En general, existen algunos tipos de inversores:

- **Semisinusoidales:** Son dispositivos que no dan una salida sinusoidal pura. Son económicos, pero no están diseñados (o no son recomendados) para equipos inductivos, como los motores, pero con las cargas resistivas no tiene problemas, como con las luminarias.
- **Sinusoidales:** Son dispositivos que proporcionan una señal de salida prácticamente pura. La ventaja es que pueden alimentar cualquier equipo (inductivo y resistivo).
- **De onda cuadrada:** Son los más económicos. Se basan en la rectificación (chopear) muy simple de la onda de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión armónica total es elevada, aproximadamente del 40% y su rendimiento es entre el 50 y 60%

Un inversor debe tener ciertas características deseables para su correcto funcionamiento:

- **Alta eficiencia.** Trabajar en un amplio rango de potencias.
- **Bajo consumo en vacío.** Cuando no hay carga.
- **Alta fiabilidad.** Resistente a picos de arranque.
- **Protección contra cortocircuitos.**
- **Seguridad.**
- **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida.** Compatible con la red que se quiere conectar.

Los inversores tienen diferentes parámetros técnicos, como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 10 Parámetros comunes de los inversores [11] [12]

Parámetros	Descripción
Forma de onda	Puede ser sinusoidal o semisinusoidal.
Distorsión (rizado de corriente)	Indica la posible degradación de la onda de salida. Debe de ser menor al 2% trabajando en potencia nominal.
Tensión nominal de entrada	Valor de la tensión continua de entrada.
Tensión de operación	Margen de tensión de entrada que admite el inversor: 10.5 a 14.5 V
Tensión de salida	Valor nominal de la tensión alterna de salida. Puede indicarse el porcentaje de desviación: 230 V \pm 5%
Frecuencia	Valor de la frecuencia, que debe coincidir con la de la red eléctrica, y deber ser estable, o sea, no debe tener grandes variaciones.
Corriente nominal de entrada	Corriente consumida por el circuito de entrada a la potencia nominal de salida.
Corriente nominal de salida	Corriente que proporciona el circuito de salida en alterna.
Potencia nominal de salida (activa)	Valor de la potencia nominal en régimen de funcionamiento continuo del circuito de salida del inversor, el cual corresponde al producto entre la tensión y la corriente nominales de salida.
Rendimiento	Se indica en porcentaje, el cual es el cociente entre la potencia de salida y entrada.
Potencia de sobrecarga o de pico	Valor de la potencia de salida superior a la nominal durante el tiempo especificado. Viene expresado en porcentaje.
Factor de potencia	Relación entre la potencia activa y la potencia aparente a la salida del inversor.
Autoconsumo	Es la potencia, en porcentaje, consumida por el inversor comparada con la potencia nominal de salida.



Parámetros	Descripción
Armónicos	Un armónico ideal es una frecuencia de onda múltiplo de la frecuencia fundamental. Hay que tener en cuenta que, sólo la frecuencia fundamental se produce en potencia activa. Lo ideal es que la onda de salida resultante no tenga o tenga los mínimos contenidos en armónicos.

INVERSORES CONECTADOS A LA RED

Ya que es el elemento más importante de la instalación fotovoltaica, es de vital importancia que sincronice la frecuencia de la señal de salida con la de la red suministradora (en este caso, con la red de CFE que es a 60 Hz constantes) para que tenga una compatibilidad total la generación de energía.

Los parámetros que determinan las características de un inversor son:

- **Potencia:** se debe determinar la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en óptimas condiciones. Existen inversores desde 50 W, dedicados para uso doméstico en cada panel, de 400 W, para pequeños campos fotovoltaicos, y de potencias elevadas (varios kW). Muchos están pensados para poder ser conectados en paralelo para poder elevar la potencia de suministro según se requiera.
- **Fases:** Normalmente, si son menores a 5 kW son monofásicos, mayores a 15 kW son trifásicos, aunque varios modelos de monofásicos pueden acoplarse para poder trabajar en trifásico.
- **Rendimiento energético:** Actualmente en el mercado hay inversores con un rendimiento medio del 90%. El rendimiento es mayor cuando se opere este más próximo a sus condiciones nominales. Es primordial hacer coincidir la potencia pico del campo fotovoltaico y la potencia nominal del inversor. Si se desea un rendimiento óptimo, la potencia pico del campo no debe de ser menor a la potencia nominal del inversor.
- **Protecciones:** Un inversor conectado a la red debe tener como mínimo:
 - **Interruptor automático:** son dispositivos de corte automático, en el cual actúan los relés de mínima y máxima tensión que controlan la dase de la red de distribución sobre la cual, el inversor está conectado. El rearme del sistema también debe de ser automático una vez que se haya restablecido el servicio normal.
 - **Funcionamiento “en isla”:** Dispositivo que evita que el inversor funcione cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido por debajo de un determinado rango.
 - **Limitador de la tensión máxima y mínima.**
 - **Limitador de la frecuencia máxima y mínima:** Con margen del $\pm 2\%$
 - **Protección contra directos.**
 - **Protección contra sobrecargas.**
 - **Protección contra cortocircuitos.**

○ **Bajos niveles de emisión e inmunidad de armónicos.**

Existen en el mercado 2 tipos comunes de inversores que se usan en la conexión a la red:

- **Inversores centrales:** Estos se instalan entre los paneles solares y el medidor bidireccional y cuentan con un interruptor central que puede apagar todo el sistema. También, algunos, cuentan con la configuración para instalaciones monofásicas o trifásicas. Los más modernos cuentan con un display el cual muestra datos sobre la generación diaria, la cantidad de generación acumulada y hasta el voltaje registrado, también puede contar con alarmas o alertas de la operación del sistema.



Ilustración 19 Ejemplo de inversores centrales.

Fuente: <https://bit.ly/2ICghbT>

- **Microinversores:** tienen la misma función que los anteriores, pero estos se instalan en cada panel a diferencia de los centrales que es único. Cada panel cuenta con su propio microinversor independiente. Estos están diseñados para la intemperie y no moverse, no contienen partes móviles o displays, aunque se le puede anexar un monitor externo para realizar esta función. La mayor ventaja de estos inversores a comparación de los anteriores, es que se pueden monitorear de forma remota desde un dispositivo móvil.



Ilustración 20 Ejemplo de microinversor.

Fuente: <https://bit.ly/2Xv4eFJ>

ESTRUCTURAS

Las estructuras para los paneles solares son importantes para que estos tengan el ángulo de inclinación correcto en dirección al sol y, más que nada, brindar protección y seguridad a la instalación.

Principalmente, deben ser soportes resistentes, ya que deben mantenerse estables ante vientos fuertes en ciertas zonas o por la elevación en la que se encuentran (a veces entre 100 y 150 km/hr); soportar sobrepesos que pueda provocar ciertos objetos estando en la intemperie, deben responder a la normativa básica de la edificación, deben ser a prueba de corrosión (de acero galvanizado o aluminio anodizado), debe tener suficientes puntos de sujeción para evitar flexiones que pudieran alterar, o incluso, romper el soporte. También como fijar el ángulo de operación al momento de instalarlo, para que esta no se altere durante su funcionamiento ante vientos.

Todo el soporte debe estar conectado a tierra común que cumpla con la regulación de bajos voltajes (estar aterrizado).

Existen tres tipos de estructuras para los paneles fotovoltaicos: plana (ideales para estar en el suelo, jardines, terrazas, etc.), inclinadas (para tejados a dos aguas o con inclinaciones, pero debe estar orientada al sur geográfico. La desventaja es que, a veces, la inclinación del mismo tejado no es el necesario para el correcto funcionamiento del panel) y seguidores solares (con movimiento autónomo de este a oeste, para que el panel este todo el tiempo perpendicular al sol, aumentando la generación entre un 10 y 15%).

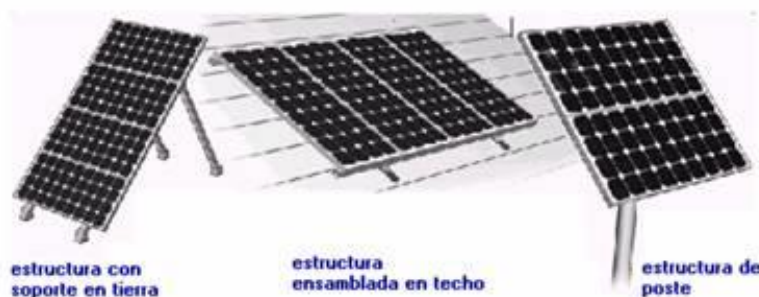


Ilustración 21 Diversas estructuras de soporte para paneles fotovoltaicos.

Los paneles generan energía aún con un cielo nublado. Aunque para su operación óptima debe haber presencia de luz en su totalidad y debe tener una orientación lo mejor posible al sol, para aprovecharlo al máximo todo el año, la cual es, durante el mediodía, el panel debe estar completamente perpendicular al sol. En el hemisferio norte, el panel debe orientarse hacia el sur y viceversa. Una pequeña desviación de orientación no afecta en lo mínimo a la generación de energía por los cambios de posición del sol durante el día.

A medida que pase el tiempo y las estaciones, el panel tendrá una ligera variación en su posición perpendicular inicial al sol, por los cambios de estaciones, el ángulo entre el plano horizontal y el panel solar se denomina ángulo de inclinación.

La posición del sol en verano (que es cuando es la mayor incidencia de luz sobre la tierra) es diferente a la posición en invierno, por lo que el panel deberá estar en un punto medio entre los ángulos óptimos para el verano y el invierno para no estar moviendo en cada estación la posición de los paneles, por lo que se recomienda tener más en cuenta la generación de energía durante el invierno, que es cuando el panel puede llegar a no trabajar al cien por ciento.

En cada latitud hay ángulos de inclinación óptimos, por lo que, si se quiere ponerlo totalmente horizontal, esto debe de ser solamente en zonas cercanas al Ecuador:

Tabla 11 Inclinaciones de paneles solares según la latitud global [13]

Latitud del lugar (en grados)	Ángulo de inclinación fijo
0 a 15	15
15 a 25	La misma latitud
25 a 30	Latitud más 5
30 a 35	Latitud más 10
35 a 40	Latitud más 15
40 o más	Latitud más 20

Así, por ejemplo, en México que tiene una latitud de 19° Norte¹², se considera que la inclinación de los paneles instalados en la Ciudad debe ser la misma, de 19° con respecto al plano horizontal.

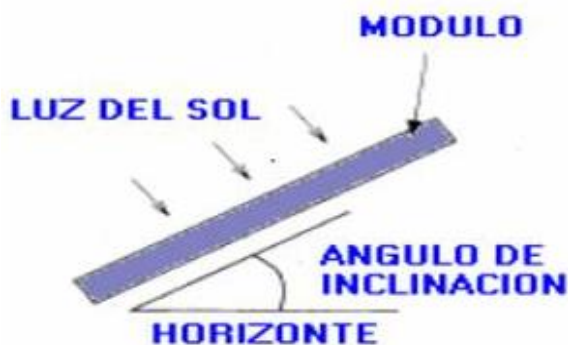


Ilustración 22 Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.

¹² Fuente: <https://bit.ly/2X2tJtT>

ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional, esto hace que el país sea ideal para el aprovechamiento de la energía solar, ya que tiene una irradiación media diaria de aproximadamente 5.5 a 5.7 kWh/m²/día, siendo uno de los países de mayor aprovechamiento del mundo. La cantidad de irradiación promedio, varía ligeramente a lo largo de la república y del mes en cuestión, teniendo una variación de entre 3 kWh/m² y 8 kWh/m².

México cuenta con 9 centrales fotovoltaicas en operación (hasta el 2011), las cuales representan menos del 0.1% de la capacidad total y el 0.03% de la generación eléctrica. Están ubicadas principalmente en Baja California, Baja California Sur, Durango, Aguascalientes, Guanajuato, Sonora y el Estado de México.

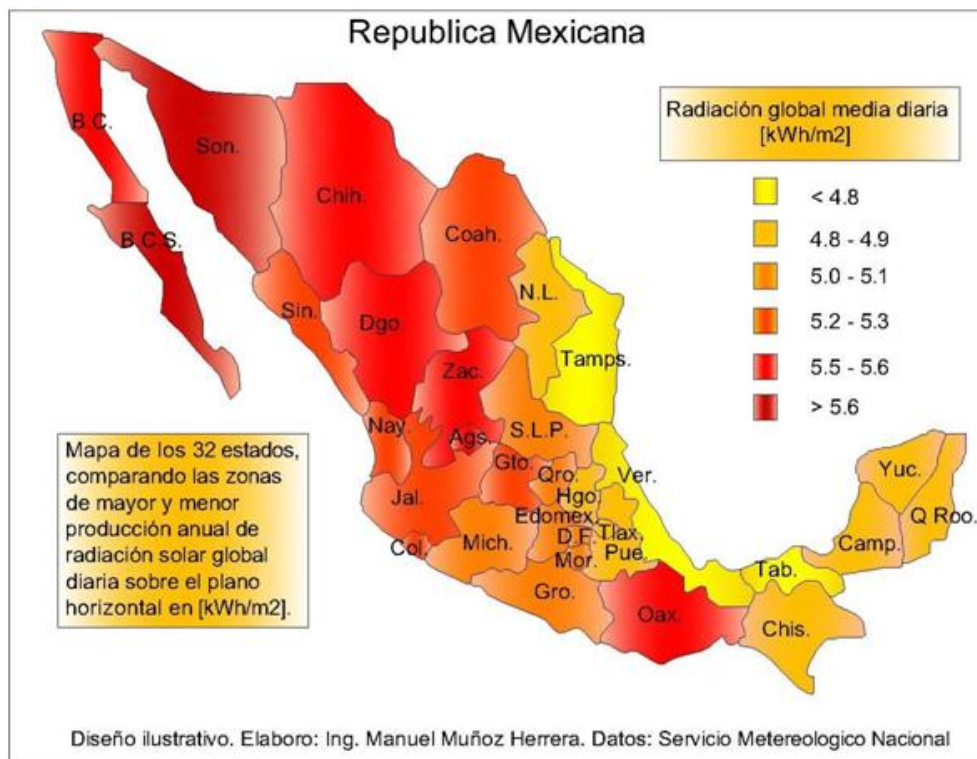


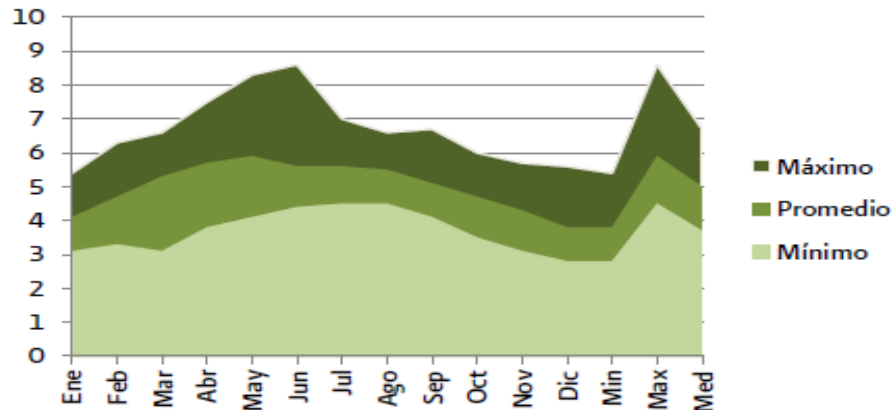
Ilustración 23 Mapa de niveles de irradiación en México.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Los principales productores de energía fotovoltaica es España y Estados Unidos, seguidos de Alemania, China, Japón e Italia.

El crecimiento de este tipo de energía es acelerado, ya que más del 60% del total de la capacidad mundial se instaló en los últimos 4 años.

Intervalo de irradiación solar global diaria promedio mensual en México (kWh/m²)



Fuente: SENER con información de la CONUEE.

Ilustración 24 Gráfica representativa de la cantidad de irradiación diaria promedio mensual en México.

En el 2011, la capacidad total instalada de sistemas fotovoltaicos fue de 32 MW, principalmente para el suministro en zonas rurales, suministro en sector residencial, bombeo de agua, en sectores comerciales e industriales (básicamente para iluminación de exteriores, alimentación de sistemas de emergencia, etc.).

A partir de la publicación de los instrumentos regulatorios que facilitan la interconexión de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica de CFE, se registró una capacidad adicional instalada en pequeña y mediana escala por 3.48 MW en el periodo 2010-2011. El crecimiento de generación eléctrica de este estilo, en el sector residencial, fue de 763% (1.34 MW) en el 2010, y de 128% (1.95 MW) en el 2011. En la generación de sistemas aislados fue de 0.2 MW (5.71%).

Estudios de la IIE, indican el potencial de penetración en un periodo de cinco años en México, de las tecnologías termosolares de concentración para la generación eléctrica, se definieron tres escenarios:

- Escenario bajo: Plantas de plato parabólico para sustituir máquinas de combustión interna.
- Escenario medio: Plantas de receptor central y de canal parabólico para cubrir capacidad adicional y retiros de plantas convencionales de CFE.
- Escenario alto: Plantas de receptor central, de canal parabólico y de platos parabólicos para cubrir el 30% de la capacidad no comprometida en plantas de CFE.

**CAPÍTULO 4: APLICACIONES DE INSTALACIONES SOLARES EN SISTEMAS
RESIDENCIALES**

TIPOS DE SUMINISTRO

Dentro de las instalaciones solares fotovoltaicas, puede existir diversos tipos de arreglos dependiendo de las necesidades y la economía de los usuarios que deseen tener una. Estos diversos tipos de suministro pueden incluir diversos dispositivos para su correcto funcionamiento que otros no necesiten.

Suministro de corriente continua

Este tipo de instalación, proporciona una tensión de 12 a 24 V (en corriente continua) para alimentar principalmente lámparas de alumbrado, televisores de bajo consumo y dispositivos similares. En este caso, los elementos que se necesitan son:

- Panel fotovoltaico.
- Regulador.
- Batería (acumulador)

Suministro de corriente alterna

Este tipo instalación proporciona corriente alterna para alimentar equipos que requieran este tipo de corriente. Se usa generalmente para alimentar pequeños electrodomésticos, televisiones de medio y gran consumo. También se puede dejar un suministro aparte para otros equipos. Los elementos que se necesitan en este tipo de instalaciones son:

- Panel fotovoltaico.
- Regulador.
- Batería (Acumulador)
- Inversor.

Suministro alternativo

Este tipo de instalación se recurre al procedimiento solar como principal y el consumo de energía convencional se usa, solamente, cuando se supera la capacidad de la instalación.

Su uso es, principalmente, en elementos de bajo consumo como el alumbrado, equipos audiovisuales, etc. Y el consumo convencional son para aparatos de gran consumo, como lo es el refrigerador, calentadores, motores, etc.

Suministro con conexión a la red

Este tipo de instalación, es cuando, el inversor se conecta directamente a la red eléctrica para inyectar energía a ésta misma de los paneles fotovoltaicos del hogar. De esta forma, el cliente contribuye al consumo y la potencia inyectada se detrae de la convencional.

Aunque ya se haya mencionado, cabe recalcar que, antes de inyectar la energía eléctrica producida por la vivienda a la red, ésta debe de cumplir ciertos parámetros para poder ser



integrada a la red de cualquier compañía suministradora, como lo es la frecuencia. Si no cumple con estos parámetros, no se podrá realizar la inyección de energía a la red.

Los elementos que se necesitan en este tipo de instalaciones son:

- Panel fotovoltaico.
- Inversor.
- Medidor bidireccional.

Sistema de bombeo de agua

En ocasiones, se puede utilizar la generación solar para poder alimentar bombas de suministro de agua, las cuales, pueden ser sumergidas o convencionales, para extraer el agua de un depósito (cisterna) y elevarla a otro (tinaco), junto con sus elementos de control.

Se puede conectar la bomba directamente al panel solar si es de corriente directa, o si es de corriente alterna, usando un inversor de por medio.

Son utilizadas, mayormente, en zonas rurales para bombeo de poco caudal.

Los sistemas de bombeo se pueden clasificar por su dependencia energética y su alimentación:

- Bombeo directo: Cuando la bomba es alimentada directamente del panel.
- Bombeo con sistema de acumulación eléctrica: Cuando la instalación a las bombas cuenta con un acumulador para operar en horarios sin luz solar.

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA

Para poder empezar a escoger un panel solar para el dimensionamiento de la instalación, se debe conocer su área de captación efectiva y su rendimiento energético.

Por ejemplo, si se tiene un panel solar de 0.8 m^2 , con un rendimiento del 16%, instalado en una zona donde su radiación promedio en primavera es de $5,260 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$, se calcula:

$$P_{cap} = 5260 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} (0.8 \text{ m}^2) (0.16) = 673 \text{ Wh}$$

Aunque muchos paneles comerciales no cuentan con su dato de rendimiento, en ese caso se puede aplicar:

$$P_{cap} = (P_{hps})(P_{fv})$$

Donde:

- P_{hps} es la potencia en watts por día
- P_{fv} es la potencia en watts del panel fotovoltaico considerado

Usando el ejemplo anterior, pero sabiendo que el panel es de 50 W, se puede conocer la potencia de captación:

$$P_{cap} = \left(5260 \frac{Wh}{m^2} \right) (50 W) = 263000 W = 263 kW$$

Cabe recalcar que, se debe dimensionar los paneles solares para las épocas de menos irradiación, ya que, de esta forma se considera la ausencia de radiación y en épocas más soleadas, la instalación trabajará a un mejor rendimiento.

En el caso de los acumuladores, ya se explicó en el capítulo 3.

En el caso de los conductores para las conexiones de los dispositivos de la instalación, deben ser cuidadosamente calculados para evitar pérdidas excesivas de energía. Se consideran aceptables a efectos de cálculo de la sección del cable las siguientes pérdidas [10]:

- Desde el panel al regulador – 1%
- Desde el regulador al acumulador – 1%
- Desde el regulador a los elementos de consumo – 3%

Para esto, la sección del cable de cobre se calcula con la siguiente fórmula:

$$S(mm^2) = \frac{0.036(LI)}{\Delta V}$$

Donde:

- S = Sección del cable en mm²
- L = Distancia entre los componentes (m)
- I = Corriente en circulación (A)
- ΔV = Caída de tensión en los cables (% de los anteriores mencionados)

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

El diseño de un sistema fotovoltaico nos ayuda a conocer el número de paneles y baterías que se vayan a necesitar para un suministro fiable para el consumo anual de la casa. Su principal objetivo es tener la máxima fiabilidad y el mínimo coste.

Existen dos métodos para poder diseñar; el más clásico y más simple usado en sistemas autónomas es el denominado “Método ampere-hora”, el cual se basa en el consumo diario en Ah, teniendo en cuenta las pérdidas entre las baterías, las cargas y el rendimiento de carga de la batería. Y uno más sofisticado y complejo que llega a necesitar ayuda de computadora, es el denominado “Método Loss of Load Probability” (LLP) el cual se especifica el consumo de diseño, incluyendo los rendimientos del regulador de carga, de carga de la batería y del inversor. Este método depende del tratamiento estadístico de los datos de radiación solar.

Ambos métodos tienen los mismos principios:



- Se dimensiona para que la producción del generador fotovoltaico sea igual al consumo (en valores promedio).
- Se dimensiona para que la batería pueda abastecer el consumo cuando no hay sol durante un determinado número de días consecutivos.

MÉTODO AMPERE - HORA

En el método “Ampere – hora”, que se puede realizar de forma manual, se tiene los siguientes pasos:

1. Cálculo de los consumos diarios.
2. Cálculo de la potencia pico y de la corriente.
3. Corrección del consumo.
4. Corriente y ángulo de inclinación.
5. Dimensionado de la batería.
6. Dimensionado del panel.
7. Controladores de carga.
8. Cableado del sistema.
9. Instalación del sistema.
10. Consideraciones generales.

Para poder realizar este método se necesita conocer la cantidad de corriente que cada carga consume, tomando como referencia el voltaje del sistema y el tiempo de operación de cada una de ellas.

Para poder hacer al cálculo de los Ah de una carga, primeramente, se necesita conocer la cantidad de corriente que consume, por lo que se usa la siguiente fórmula tomando como referencia la potencia nominal del aparato y el voltaje del hogar:

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

- I es la corriente que consume la carga (A)
- P es la potencia nominal de la carga (W)
- V es el voltaje del hogar (V)

Una vez obtenido este dato, se procede a calcular la cantidad de Ah con la siguiente fórmula:

$$Ah = (I)(t)$$

Donde:

- Ah es la cantidad de corriente que usa la carga en un cierto tiempo.
- I es la corriente que se calculó con la ecuación anterior (A)

- t es el tiempo que está conectado el aparato mientras funciona, normalmente es en horas (hr)

Por ejemplo: Si se tiene una secadora de cabello que su potencia de fábrica es de 1,000 W, conectada a la fuente de una casa de 127 V, su corriente será de:

$$I = \frac{1000 \text{ W}}{127 \text{ V}} = 7.87 \text{ A}$$

Y si, esta misma está conectada durante 2 horas seguidas, su consumo será de:

$$Ah = (7.87 \text{ A})(2 \text{ hr}) = 15.74 \text{ Ah}$$

De igual forma, se puede considerar la eficiencia, cuyo valor es de 85% en un sistema sin baterías, por lo que, con el ejemplo anterior quedaría:

$$\frac{15.74 \text{ Ah}}{0.85} = 18.51 \text{ Ah}$$

Para calcular la corriente del sistema, se debe dividir los Ah por las HSP de la localidad donde se va a instalar, en la zona centro ([Anexo 5](#)) de México, es de 5.36:

$$\frac{18.51 \text{ Ah}}{5.36 \text{ hr}} = 3.45 \text{ A}$$

Con estos datos, se puede calcular, con las siguientes fórmulas, la cantidad de paneles en serie y paralelo que se necesitarán para la cantidad de demanda que se tiene.

$$MFV_{\text{serie}} = \frac{V_S}{V_{Mp}}$$

$$MFV_{\text{serie}} = \frac{I_S}{I_{Mp}}$$

Donde:

- V_S es el voltaje del sistema.
- V_{Mp} es el voltaje a máxima potencia del panel fotovoltaico.
- I_S es la corriente del sistema.
- I_{Mp} es la corriente a máxima potencia del panel.



CRITERIO WATT – HORA

Cuando no se conoce con precisión el consumo de las cargas en el sistema que se va a conectar, se suele usar este método, el cual consiste en dividir la energía requerida (Wh) por las horas pico de la localidad y los factores de eficiencia de los componentes, obteniendo la capacidad del arreglo fotovoltaico.

$$P_{AFV} = \frac{E_R}{(HSP)(\eta)}$$

Donde:

- P_{AFV} es la potencia del arreglo fotovoltaico.
- E_R es la energía requerida.
- HSP son las horas solares pico.
- η es la eficiencia total.

Por ejemplo: si una casa habitación tiene un consumo promedio de 300 kWh al día en la zona centro de México, la potencia del arreglo sería de:

$$P_{AFV} = \frac{300 \text{ kWh}}{(5.36)(0.85)} = 65.84 \text{ kW}$$

Como recomendación, se le puede agregar al valor obtenido un 5% de más para el sobredimensionamiento. Por lo que, del ejemplo anterior sería:

$$(65.84 \text{ kW})(1.05) = 69.13 \text{ kW}$$

Con la potencia total del arreglo, se puede dividir entre la potencia del panel fotovoltaico que se desea colocar para conocer la cantidad de estos que se requerirán.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED

Este tipo de sistemas inyectan la energía generada del panel solar a la red en forma de corriente alterna con ayuda de un inversor, con el mismo voltaje y frecuencia que la red.

La principal ventaja de este tipo de sistemas es que no requiere de un banco de baterías, sino que usan la misma red como fuente de almacenamiento. Otra ventaja que tiene ante los sistemas autónomos es que no se requiere hacer el dimensionamiento para generar el 100% del consumo, ya que, si no se cubre la demanda del hogar, el resto de la energía se obtiene de la misma red convencional.

Como ya se comentó anteriormente en este mismo capítulo, para este tipo de sistemas es indispensable el inversor, ya que será el responsable de sincronizar el voltaje y la frecuencia de la energía que genera los paneles instalados. Hay que tener en consideración que, un inversor para sistemas aislados no está diseñado para ser conectados a la red, ya que, si se usan de esta forma, se pueden dañar permanentemente.

En algunos países, donde se aplica este tipo de instalaciones, las compañías suministradoras compran la energía generada de los sistemas fotovoltaicos o hacen el descuento de la renta del servicio que le proporcionan al usuario, reduciendo costos y convirtiéndose en un negocio rentable, únicamente haciendo una inversión inicial.

En México, desde junio del 2007 se les permite a los usuarios generar su propia energía eléctrica para inyectarla en la red de CFE con un medidor bidireccional, el cual mide el intercambio de energía que entra de los paneles a la red. La compañía no compra la energía, pero existen incentivos (deducción del 100% del proyecto en el ISR para personas físicas o morales que instalen paneles solares o calentadores solares de agua), financiamientos para los usuarios de tarifas en media y baja tensión (FIDEO), así como apoyos a fondo perdido para el sector agropecuario (FIRCO) los cuales facilitan la inversión y/o aumentan la rentabilidad de las inversiones en esta clase de tecnología.

El artículo 276 del Código Fiscal de la Ciudad de México, señala que los propietarios de viviendas que instalen y utilicen dispositivos como paneles solares y sistemas de captación de agua pluvial u otras tecnologías con lo que acrediten la disminución de por lo menos el 20% en el consumo de energía o agua, podrán alcanzar un descuento de 20% en derecho por el suministro de agua. Igualmente, en el artículo 277 hace referencia a las empresas o instituciones que cuenten con programas que busquen mejorar las condiciones ambientales mediante equipos anticontaminantes, las cuales podrán gozar de un descuento de hasta el 50% en el impuesto sobre nómina y 25% en el impuesto predial. Estos beneficios van ligados a la norma ambiental del DF, NADF-008-AMBT-2005.

Según las últimas modificaciones de la ley, en el sector residencial está permitido instalar hasta 10 kWp, y en comercios 30 kWp y en la industria hasta 500 kWp, aunque se puede instalar una capacidad mayor solicitando un permiso previo ante CRE (Comisión Reguladora de Energía).

Si un usuario genera más energía de la que consume, esta energía “se guardará” y, en el próximo recibo de luz, la energía sobrante, se verá reflejada en una reducción de consumo, por lo que se puede usar a favor en los próximos 12 meses.

Si la diferencia entre la energía suministrada y la generada es de cero, solamente se pagará el mínimo establecido en el contrato de suministro normal.

Cuando el consumo sea mayor a la energía generada, incluso después de haber utilizado cualquier crédito de meses anteriores a favor, el cliente tendrá que pagar la diferencia con base al acuerdo de tarifas vigente.

También hay que tomar en cuenta que, cuando existe un corte de suministro de energía en la red de CFE, la energía solar generada también se cortará, ya que no existe un banco de baterías de respaldo, aunque los nuevos inversores para esta clase de instalaciones, cortan la corriente para la seguridad de la red y de los operadores.



El contrato para poder hacer la interconexión a la red tiene un precio aproximado de \$3,000 MXN, aunque el precio varía según el estado del país.

RECIBO DE LUZ DE CFE

En el país, la compañía suministradora de energía eléctrica es Comisión Federal de Electricidad (CFE). Cuando se está contratando sus servicios, bimestralmente llega a los domicilios un recibo, conocido como recibo de luz, en el cual indica la cantidad de energía consumida en los 60 días y el precio total a pagar. En la siguiente imagen se ilustra las partes que tiene este recibo:

- **Datos del usuario:** Nombre y domicilio completos
- **Número de servicio (RMU):** Datos que identifican al usuario con la empresa y poder realizar los trámites pertinentes.
- **Número de medidor.**
- **Lectura anterior:** Indicación en kWh registrado en el medidor al final de bimestre anterior.
- **Lectura actual:** Registro más actual de la cantidad de kWh consumidos.
- **Multiplicador:** El resultado de la resta de las lecturas se multiplica, generalmente, por 1 (uno).
- **Consumo:** Diferencia entre la lectura anterior y la actual del medidor, indicado en kWh.
- **Periodo de consumo (facturado):** Fecha inicial y final del consumo registrado.
- **Historial de consumo:** Referencia del consumo bimestral de los dos últimos años.
- **Avisos:** En esta sección se publican consejos de ahorro, eventos deportivos, culturales, programas que ofrece CFE, anuncios, o incluso, si el consumo del recibo es estimado, ya que no se pudo tomar la lectura del medidor, entre otros.
- **Total a pagar:** Es la cantidad de dinero que se debe pagar hasta cierta fecha, incluyendo impuestos.
- **Fecha límite de pago:** Día límite para pagar el servicio.
- **Suministro:** Es el costo de operación del suministrador que se encarga de la facturación, cobranza, atención a usuarios y la adquisición de la energía y productos asociados para satisfacer la demanda de sus clientes.
- **Distribución:** Recupera el costo del uso del conjunto de cables y los centros de transformaciones que permiten hacer llegar la energía hasta el usuario.
- **Transmisión:** Corresponde a los cargos de transporte y transformación de voltaje de energía eléctrica hacia las redes.
- **CENACE:** Es el costo correspondiente por administrar la energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista.
- **Generación:** Es el costo por producir la energía eléctrica en alta tensión.
- **Capacidad:** Es el costo que se asigna a cada categoría con base al tipo de medición, ya sea simple o con demanda.

- **Otros MEM:** Corresponde a otros costos relacionados con el Mercado Eléctrico Mayorista.
- **Información de identificación SHCP:** Sello y cadena digital para la identificación exclusiva de Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- **Talón de caja desprendible:** Código de barras que viene en el talón para poder pagar en instituciones bancarias y centros comerciales.
- **DAP:** El Derecho al Alumbrado Público o DAP, es una contribución que cobran los municipios por el servicio de alumbrado público que se brinda en las calles, plazas, jardines y áreas de uso común, con la finalidad de mantener y mejorar las luminarias y redes de alumbrado. La forma de cobro es muy ambigua, por lo que, generalmente, del precio total solo se cobra el 10% o menos del monto consumido.



CFE Suministrador de Servicios Básicos
Av. Paseo de la Reforma 164,
Col. Juárez, Del. Cuauhtémoc, C.P. 06600, Ciudad de México.
RFC: CSS160330CP7

OTROS SERVICIOS BÁSICOS AJUSTADOS

NO. DE SERVICIO (RMU): 01030 58-07-22 XAXX-010101 003 CFE

TARIFA: 01 NO. MEDIDOR: 595JTE MULTIPLICADOR: 1

TOTAL A PAGAR:
\$258.00
(DOSCIENTOS CINCUENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N.)

PERIODO FACTURADO: 02 NOV 17 - 04 ENE 18

LÍMITE DE PAGO: 25 ENE 2018 CORTE A PARTIR: 26 ENE 2018

Concepto	Medida	Medida	Total periodo	Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
Energía (kWh)					
	04757	04166			
	01312	00979			
Básico			150	0.793	118.95
Intermedio			108	0.956	103.24
Suma			258		222.19




¡Ahora es más fácil!  

¡Ya puedes pagar tu recibo de CFE con tarjeta de crédito o débito en nuestros Centros de Atención!

Costo de la energía en el mercado				Desglose del importe a pagar	
Concepto	\$	S/kW	S/kWh	Concepto	Importe (MXN)
Suministro	140.44	0.00	0.00	Cargo Fijo	140.44
Distribución	0.00	0.00	234.19	Energía	222.19
Transmisión	0.00	0.00	39.24	Subtotal	222.19
CENACE	0.00	0.00	1.81	IVA 16%	35.55
Energía	0.00	0.00	10.53	Fac. del Periodo	257.74
Capacidad	0.00	0.00	11.38	Diferencia por redondeo	0.90
SCrMEM	0.00	0.00	1.39	Total	\$258.64

Apoyo Gubernamental 298.54

¿En qué podemos ayudarte?     

Fecha, hora y lugar de impresión: 11 JAN 2018 09:48:51 hrs. Av. División del Norte 3105 F1 Piedad Croyocan Distrito Federal México 04331



NÚMERO DE SERVICIO (RMU): 01030 58-07-22 XAXX-010101 003 CFE

GUENTA: CLAVE DE SERVIDOR: Cobranza Electrónica



CLAVE DE SERVIDOR: Cobranza Electrónica

TOTAL A PAGAR:
\$258.00
(DOSCIENTOS CINCUENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N.)

-1-

Ilustración 25 Ejemplo de recibo de luz.

Fuente: CFE



TARIFAS DOMÉSTICAS

En México se manejan ocho tipos de tarifas domésticas:

- 01
- 1A
- 1B
- 1C
- 1D
- 1E
- 1F
- DAC

Las letras indican las regiones del país, ya que varía en cuanto a su temperatura mínima promedio mensual. Esto quiere decir que, no es la misma tarifa en la CDMX que en Monterrey, ya que, entre más calor haga en promedio, más subsidio se recibe por parte del gobierno, o sea, se paga menos, esto se debe a que, en verano, muchos aparatos eléctricos se mantienen encendidos gran parte del tiempo, como los refrigeradores, aires acondicionados, ventiladores, etc.). Por ellos, en las partes más cálidas del país se aplica un subsidio especial, que va desde abril hasta septiembre.

De las ocho tarifas, solo las primeras siete mencionadas tienen subsidio.

Las de tipo 1 (o subsidiadas), son las que cuentan con el apoyo económico del gobierno, siempre y cuando no sean de alto consumo y que no estén conectadas individualmente a cada residencia, departamento, condominio o vivienda.

- **La tarifa 1A** se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 25°C como mínimo¹³.
- **La tarifa 1B** se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 28°C como mínimo.
- **La tarifa 1C** se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 30°C como mínimo.
- **La tarifa 1D** se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 31 °C como mínimo.
- **La tarifa 1E** se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 32°C como mínimo.
- **La tarifa 1F** se aplica en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 33°C como mínimo.

También se tiene que tener en consideración los diferentes escalones de consumo según la cantidad de kWh, esto quiere decir que, dentro de los rangos de subsidios, existen límites de consumo para segmentar el cobro:

¹³ Se considera que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 25°C (o los diferentes indicados) cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por SEMARNAT.

- **Consumo básico:** Los primeros 150 kWh.
- **Consumo intermedio** (en verano se divide en consumo intermedio bajo y consumo intermedio alto): De 151 a 300 kWh.
- **Consumo excedente:** A partir del kWh 301.

Poniendo un ejemplo: si una casa, en la región centro, tuvo un consumo bimestral de 280 kWh, se tiene los siguientes precios.

Tabla 12 Ejemplo de consumo de una casa habitación en zona centro

Concepto	Total del periodo	Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
Energía	280 kWh		
Básico	150 kWh	0.793	118.95
Intermedio	130 kWh	0.956	124.28
Total	280 kWh		243.23

A este precio todavía se le tiene que agregar el IVA que es del 16% (u 11% si se está en la frontera), por lo que el precio real a pagar sería:

Tabla 13 Precio total (con impuestos) del consumo de energía eléctrica

Concepto	Importe (MXN)
Energía	243.23
IVA (16%)	38.91
Factura del periodo	282.14

En lo que va del año, el costo del consumo en la tarifa 01, no ha variado desde enero¹⁴, y los precios se mantienen en:

- Consumo básico: \$0.793 MXN
- Consumo intermedio: \$0.956 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

En la tarifa 1A¹⁵, los precios han sido:

- Consumo básico: \$0.697 MXN
- Consumo intermedio: \$0.822 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

¹⁴ Precios de enero a agosto (2018). Fuente: CFE.

¹⁵ Referencia el inicio del verano en mayo y los precios de enero a agosto (2018). Fuente CFE.



En la tarifa 1B, los precios han sido:

- Consumo básico: \$0.697 MXN
- Consumo intermedio: \$0.822 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

En la tarifa 1C¹⁶, los precios han sido::

- Consumo básico: \$0.697 MXN
- Consumo intermedio bajo: \$0.822 MXN
- Consumo intermedio alto: \$1.05 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

En la tarifa 1D, los precios han sido:

- Consumo básico: \$0.697 MXN
- Consumo intermedio bajo: \$0.822 MXN
- Consumo intermedio alto: \$1.05 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

En la tarifa 1E, los precios han sido:

- Consumo básico: \$0.583 MXN
- Consumo intermedio bajo: \$0.726 MXN
- Consumo intermedio alto: \$1.768 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

En la tarifa 1F, los precios han sido:

- Consumo básico: \$0.583 MXN
- Consumo intermedio bajo: \$0.726 MXN
- Consumo intermedio alto: \$1.768 MXN
- Consumo excedente: \$2.802 MXN

¹⁶ Tomando en referencia el inicio del verano en mayo y los precios de junio a agosto (2018), ya que, de enero a mayo (2018), no se considera el consumo intermedio bajo ni alto, es un solo precio intermedio de \$0.956 MXN. Fuente: CFE.

TARIFA DAC

Tarifa DAC, o tarifa Doméstica de Alto Consumo, es una “multa” que se cobra por exceder un límite de consumo en kWh. Esta solamente afecta a los usuarios de uso doméstico y está sustentada por la ley¹⁷ y puede llegar a ser 350% más costosa. CFE no da aviso previo cuando un usuario entra en este tipo de tarifa, hasta que llega el recibo.

La ley establece que, si el consumo de energía eléctrica mensual y bimestral promedio registrados en los últimos doce meses sobrepasa los límites que se establecen para una tarifa, se pasa de estar en una tarifa subsidiada a la tarifa de alto consumo, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 14 Límite de consumo en tarifa doméstica.
Fuente: CFE

Tarifa	Límite para ingresos a tarifa de alto consumo (bimestral)	
	Mensual	Bimestral
1	250 kWh	500 kWh
1A	300 kWh	600 kWh
1B	400 kWh	800 kWh
1C	850 kWh	1700 kWh
1D	1000 kWh	2000 kWh
1E	2000 kWh	4000 kWh
1F	2500 kWh	5000 kWh

Para ser más concretos, hay dos motivos principales para convertirse en usuario DAC:

- Alcanzar un consumo igual o mayor a los 500 kWh/bimestrales.
- Alcanzar un consumo igual o mayor a 3,000 kWh/año.

El costo, en promedio, en esta tarifa es de \$3.60 MXN/kWh, aunque, en el agosto del 2018, el precio en la zona centro es de \$4.922 MXN/kWh, esto quiere decir:

- Se llegar a pagar entre \$3.30 y \$3.62 MXN, dependiendo de la zona del país.
- Existe una cuota mínima de 25 kWh, sin importar el consumo, que tiene un precio más alto por unidad energética.
- Se paga cuota fija, independientemente del consumo, dependiendo de la zona del país¹⁸.

¹⁷ De acuerdo al artículo 139 de la Ley de la Industria Eléctrica.

¹⁸ En 2017, la cuota era homologa en todo el país de \$98.71 MXN



El país se divide por regiones para tener un control y costo diferente según la situación geográfica del usuario (estas zonas se pueden apreciar en el [Anexo 2](#)), y los precios son los siguientes:

Tabla 15 Tarifas DAC en zona centro del país en periodo de Agosto 2018 a Abril 2019

Región	Mes y Año	Cargo Fijo (MXN/mes)	Cargo por energía consumida (MXN/kWh)
Centro	Agosto 2018	106.68	4.922
	Septiembre 2018	105.62	4.752
	Octubre 2018	105.17	4.809
	Noviembre 2019	105.64	4.953
	Diciembre 2018	105.82	5.040
	Enero 2019	107.58	5.469
	Febrero 2019	107.92	5.227
	Marzo 2019	107.37	4.987
	Abril 2019	107.31	4.850

MEDIDOR BIDIRECCIONAL

Normalmente, la función de un medidor (o Watthorimetro) convencional es medir la cantidad de potencia consumida por el cliente en un cierto tiempo. De esta forma, a compañía suministradora cobrará lo indicado por cierta cantidad de kilowatt (kW).

Los medidores bidireccionales funcionan de la misma forma, solamente que la compañía (en el caso de México es CFE), debe de hacer el reemplazo adecuado. La diferencia con el funcionamiento de un medidor convencional es que el bidireccional puede “girar” en sentido contrario del consumo normal, por ejemplo, si una casa tiene un consumo promedio de 100 kWh y, con un sistema fotovoltaico interconectado, produce 80 kWh, el medidor solo marcará el consumo final que fue de 20 kWh.

Para poder hacer el contrato de interconexión, se debe acudir a las oficinas de CFE. La división de energía solar se ubica en las oficinas de proyectos comerciales de CFE, ya que, si se acude a un módulo de pago o una oficina pequeña, no se podrá atender la solicitud. El costo del contrato de interconexión es de \$850 MXN (precio del 2014), incluyendo la programación e instalación del medidor. En sí, el medidor no tiene precio ya que es propiedad de CFE. El tiempo de atención del cambio de medidor es, aproximadamente, de 2 a 3 semanas a partir del día que se hace el contrato.

EJEMPLOS APLICADOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

En México, desde la década de los noventas, se ha usado la tecnología fotovoltaica para suministrar diferentes aplicaciones como sistemas de estaciones repetidoras de microondas, telefonía, satelital, educación vía satélite y telefonía celular. En PEMEX los sistemas fotovoltaicos son utilizados para suministrar energía a equipos de comunicación, seguridad y control en plataformas marinas no tripuladas, también para la protección catódica de tuberías y estructuras metálicas. En las zonas rurales, ganaderas y agrícolas también se han usado los sistemas fotovoltaicos.

En 1998 se dio la primera experiencia de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en las instalaciones de IIE. En el periodo de 1992 a 2004, los únicos sistemas fotovoltaicos eran de programas gubernamentales de electrificación rural. En la actualidad, en promedio, las ventas anuales de paneles fotovoltaicos son alrededor de 1 MW.

La empresa eléctrica italiana Enel construye el segundo parque solar más grande del mundo, cerca de Villanueva en Viescas, Coahuila, con un área de 3,000 hectáreas. El proyecto constará de 2.3 millones de paneles solares funcionales, con 1.5 instalados, hasta marzo de 2018. En total serán 30 millones de componentes junto con dos subestaciones de alta tensión. Este proyecto cuenta con una inversión de 650 mdd y suministrará más de 1.7 GW de electricidad al año, lo que equivale a 1.3 millones de hogares mexicanos.



Ilustración 26 parque solar Villanueva en Viescas, Coahuila.

Otro parque solar en México es el “Aura Solar I” construida por la empresa Gauss Energía, ubicada en La Paz, Baja California Sur, con una capacidad de 39 MWp, la cual se encuentra abandonada y no está en operación desde septiembre de 2014, la cual pretendía generar 82 GWh al año, para abastecer el consumo de 164 mil habitantes, el 65% de la población de La Paz, con ayuda de 132,000 paneles solares policristalinos, instalados en 100 hectáreas y tenía una inversión hecha de 100 mdd.

A consecuencia del huracán Odile, la planta dejó de operar en el año del 2014, el cual fue considerado por CFE como el desastre natural que causó la mayor afectación a la infraestructura de energía. Los daños se estimaron en 7.8 mdp.



Ilustración 27 Enrique Peña Nieto inaugurando el Parque Solar Aura Solar I.

Igualmente, la empresa alemana Saferay Solar construyó el Parque Solar La Pasión en las inmediaciones de la ciudad de la Paz, Baja California Sur, a finales del 2013, la cual tiene una producción de 58.2 GWh

De igual forma, la empresa Onyx Solar, llevó a cabo la instalación de la primera fachada fotovoltaica en México, en la ciudad de Monterrey, realizado en la sede de FEMSA, la principal embotelladora de Coca Cola. El proyecto consiste en una doble piel de vidrio fotovoltaico cuya estructura de fijación no se aprecia desde el interior del edificio. Tiene una generación de 17,200 kWh/año y evita la emisión a la atmósfera de 7 toneladas anuales de CO₂.

Grupo Bimbo cuenta también con un sistema de autoabastecimiento de energía en su centro de distribución metropolitano en sus oficinas corporativas en Santa Fe. En una primera etapa se integrará 33 sistemas que generarán 3.7 MW, evitando la emisión de más de 2,500 toneladas de CO₂. Para agosto del 2017, se anunció una inversión de 2,300 mdp en su nuevo centro de distribución metropolitano en la delegación Azcapotzalco.



Ilustración 28 Edificio sede de Grupo FEMSA, Monterrey, Nuevo León.
Fuente: Google maps.



Ilustración 29 Inauguración del sistema fotovoltaico en el edificio corporativo de Bimbo.
Fuente: <https://bit.ly/2WWvQix>

La Universidad Autónoma del Estado de México también se unirá a la generación de energía eléctrica por medio solar en El Cerrillo para aprovecharla en ese campus y tratará de replicarlo en Acolman, según el secretario de Administración, Javier González Martínez.

En este año (2018), tiene que estar consolidado el proyecto que ya se tiene en función en la Facultad de Ingeniería, donde los paneles abastecen la demanda de servicio de uno de los edificios.

Ahí mismo, comprobaron que las nuevas celdas fotovoltaicas no necesitan de una temperatura elevada, sino promedio, que les permita captar la mayor parte de irradiación, esto quiere decir, que, con temperaturas muy altas y muy bajas, los paneles no sirven. Esto permitió que la federación, en particular, la Comisión de Energía del Congreso, viera al Estado de México y se le asignara parte del subsidio, con lo cual se negociaron con IUSA para que les proporcionaran dos granjas solares.



Ilustración 30 Vista de la azotea de la Facultad de Ingeniería en la UAEM, campus El Cerrillo.

Fuente: <https://bit.ly/2N5k9GL>

Las carreteras solares fueron puestas en práctica en Santiago Apóstol, Ocotlán, funcionan para abastecer las bombas de riego y son un diseño de un alumno de la UTVCO¹⁹. Se adaptaron paneles fotovoltaicos a una carretera que ya no usaban los agricultores, así la energía generada sería aprovechada para las bombas de agua, las cuales tienen un bombeo permanente durante tres horas y media continuas. Con este proyecto hubo una inversión de aproximada de 80 mil pesos.

¹⁹ Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca.

**CAPÍTULO 5: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACION SOLAR
FOTOVOLTAICA EN UNA CASA HABITACIÓN**



Para poder empezar con el diseño de la instalación fotovoltaica necesaria, se empieza analizando su historial de consumo. Como ya se había comentado anteriormente, para el diseño de un sistema autónomo sería necesario realizar el cálculo exacto de la demanda del hogar para poder dimensionar precisamente los dispositivos y poder realizar una instalación eléctrica idónea. En este caso lo importante es el consumo que se tiene con la instalación del hogar, ya que, a partir de estos valores, se estima la capacidad de los paneles requeridos para poder disminuir la cantidad de potencia, por lo que la cantidad de energía consumida se estima, normalmente, con el historial de consumo del [recibo de CFE](#).

Precisamente, para poder tener una mejor estimación, lo que se realiza es que, a partir de los últimos seis bimestres, se empieza a hacer el análisis del consumo, primeramente, para poder visualizar en que época del año es donde se tiene mayor consumo, en cual se tiene el menor consumo y poder obtener un promedio bimestral.

El historial de consumo se ve reflejado en la siguiente gráfica:

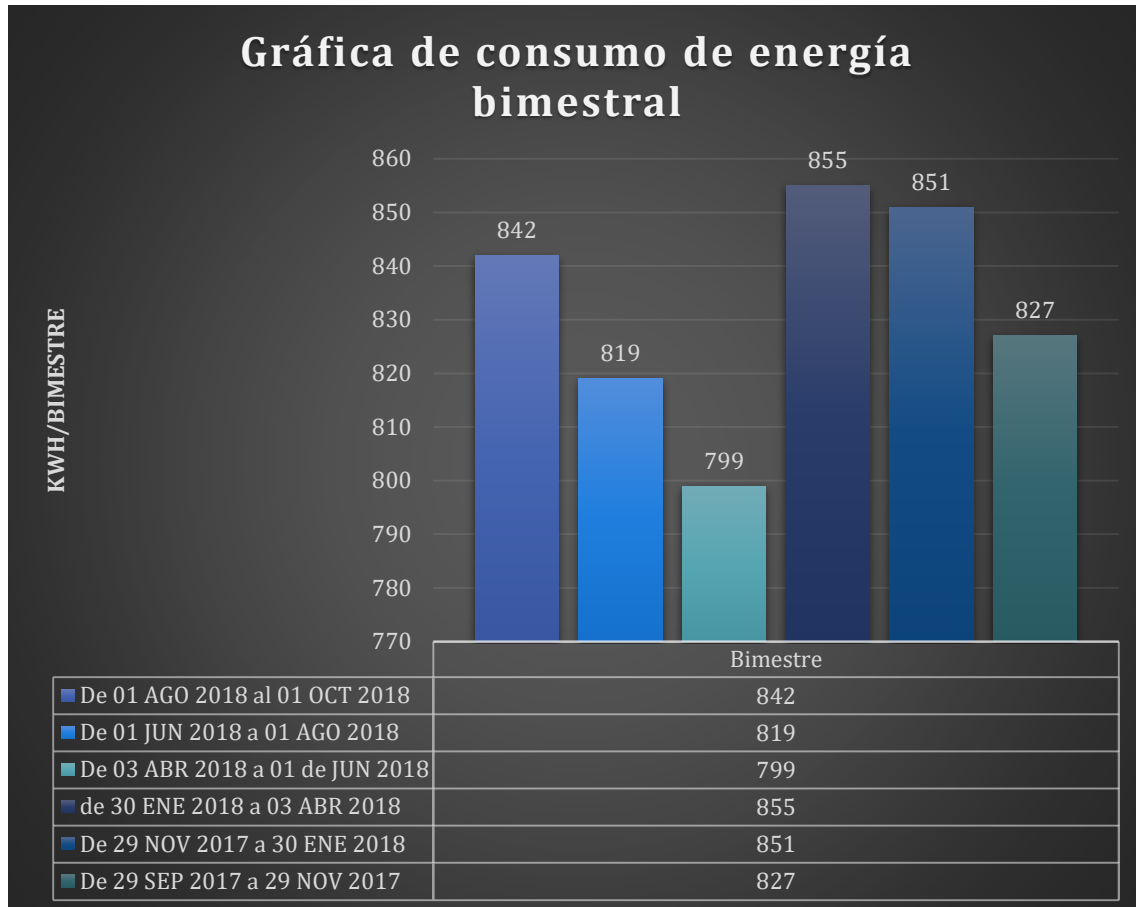


Ilustración 31 Gráfica de consumo de energía bimestral de la casa en estudio.

En total, en seis bimestres (de septiembre 2017 a octubre 2018)²⁰, el cual es un año de consumo, se tiene un total de 4,993 kWh/año, siendo el bimestre de noviembre a enero y de enero a abril como los de mayor consumo (los cuales abarcan los meses más fríos del año).

El límite de consumo en la zona centro no debe de exceder los 3,000 kWh/año, por lo que, la vivienda tomada como ejemplo está teniendo un alto consumo, y, por ende, entraría dentro de la tarifa más cara de CFE. En este caso, se puede hacer el historial aproximado de pago del consumo:

Tabla 16 Estimación de los precios de los recibos de luz

Periodo	Consumo ($\frac{kWh}{bimestre}$)	Tarifa ²¹ (MXN)	Costo (MXN)
			(Consumo x tarifa) + IVA. Aprox.
AGO 18 a OCT 18	842	4.809	4,697.04
JUN 18 a AGO 18	819	4.922	4,676.09
ABR 18 a JUN 18	799	4.778	4,428.44
ENE 18 a ABR 18	855	4.540	4,502.77
NOV 17 a ENE 18	851	4.493	4,435.30
SEP 17 a NOV 17	827	4.324	4,148.09
Total	4993		26,887.73

Con la cantidad de carga consumida al año de la vivienda, se puede estimar el consumo promedio bimestral:

$$\frac{4993 \text{ kWh/año}}{6 \text{ bimestres}} = 832.166 \text{ kWh/bimestre}$$

Con este estimado y las Horas Solares Pico promedio de la Ciudad de México, se puede conocer la potencia teórica del sistema fotovoltaico, tomando como eficiencia el 85%²² con la siguiente fórmula:

$$P_{SFV} = \frac{C_{DPA}}{HSP(\eta)}$$

Donde:

- P_{SFV} es la potencia teórica del sistema fotovoltaico.
- C_{DPA} es el consumo diario promedio anual (el consumo promedio bimestral entre 60 días)

²⁰ Anexo 4

²¹ Precios obtenidos de la aplicación de consulta de tarifas de CFE.

²² Fuente: CFE



- HSP son las Horas Solares Pico = 5.36 hr²³
- η es la eficiencia del sistema = 85%²⁴

Por lo que tenemos:

$$P_{SFV} = \frac{\frac{832.166 \text{ kWh/bimestre}}{60 \text{ días}}}{5.36(0.85)} = \frac{13.869 \text{ kWh/día}}{4.556} = 3.044 \text{ kW}$$

De igual forma, si no se conoce la eficiencia del sistema, se puede usar la siguiente fórmula:

$$N_{MFV} = \frac{E_C}{V_{MAX}(I_{MAX})(HSP)}$$

Donde:

- N_{MFV} es el número de paneles fotovoltaicos.
- E_C es la energía consumida diariamente en Wh (13,869 Wh/día)
- V_{MAX} es el voltaje máximo del panel fotovoltaico.
- I_{MAX} es la corriente máxima del panel fotovoltaico.
- HSP son las horas solares pico.

Para esto, se tomarán diversas capacidades de paneles fotovoltaicos que existen en el mercado. Se comparará el precio que ciertos distribuidores dan con el servicio y el precio de la instalación por cuenta propia.

COTIZACIONES A EMPRESAS DEDICADAS A LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS

COTIZACIÓN DE INDUSTRONIC


Con la empresa Industronic, se realizó la cotización del sistema fotovoltaico, el cual incluye:


- Paneles fotovoltaicos.
- Inversor de corriente.
- Estructuras para los paneles.
- Protecciones eléctricas.
- Materiales y mano de obra.
- Trámite con CFE (incluido el medidor bidireccional).

²³ [Ver Anexo 5](#)

²⁴ Este valor es un aproximado normal.

Esta empresa da una cotización de 9 paneles fotovoltaicos, teniendo como referencia que la potencia del sistema lo consideran de 2.97 kW, a diferencia del calculado en este trabajo que fue de 3.044 kW (la diferencia es de 0.074 kW).



POWERED BY 

Análisis de Retorno de Inversión

Cliente: Gpo Diseno Proy Cons Sup SA CV Fecha: 15 Octubre 2018

COSTO ACTUAL DE ENERGIA CON CFE			COSTO DE PROYECTO SOLAR	
PERIODO MENSUAL	CONSUMO EN kWh		Cantidad de Paneles	9
	842	+	Potencia de Paneles (watts)	330
	819	+	Potencia de Sistema (kW)	2.97
	799	+	% de Generacion	109.03%
	855	+		
	851	+	Precio/Watt USD	\$1.900
	827	+	Precio de SFV USD	\$5,643
Consumo anual de kWh de CFE	4,993 kWh		Tipo de cambio*	\$18.90
Precio promedio por kWh con CFE	\$4.020 mxn		Precio de SFV MXN*	\$106,653
Costo estimado de energia con CFE en sig. 12 meses	\$20,072 mxn			
IVA 16%	\$3,211 mxn		ROI FISCAL	2.94
Costo de Energia con CFE en 12 meses	\$23,283 mxn		ROI LINEAL	4.20

Ilustración 32 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico de Industronic.

El panel fotovoltaico que ofrecen es de la marca QCell policristalino²⁵, de 330 W cada uno, de origen alemán, el cual, dan la garantía de tener una vida útil de hasta 50 años, de los cuales, 25 serán con una eficiencia del 83% y 12 años de garantía. Ya que la empresa no proporciona la superficie de uso de cada panel, se calcula de su hoja de datos, la cual es de 1.94 m², por lo que el conjunto de 9 paneles, se necesita un área aproximada de 25.5 m² para su instalación.

Igualmente, dan una opción de inversor, el cual cuenta con diversas capacidades, yendo desde los 1,650 W hasta los 32,000 W, teniendo como recomendación para este sistema el modelo IND-3.0SS²⁶. La ventaja que otorga este tipo de inversores es el monitoreo es a través de vía internet o por medio de un dispositivo móvil, como el teléfono celular (SmartPhone) y cualquier tipo de alarma que se presente, se notifica vía correo electrónico, al igual que dará aviso con una luz roja en el mismo equipo. Aparte dan una garantía de 5 años. Finalmente, se tiene el desglose los precios y el costo total del servicio que ofrecen.

²⁵ Hoja de datos: <https://drive.google.com/open?id=1pWXA4WzhUplhY7a3bsHI2gYlGntHkLha>

²⁶ Hoja de datos: https://drive.google.com/open?id=1-r_7iljogewMUAOUZOkELgMZlOwZlFVS



Tabla 17 Precios del sistema fotovoltaico por Industronic

Modelo	Descripción	Cant.	P.U.	Importe en dll.
SFV 2.97	9 paneles QCELLS policristalinos, 330 W. Garantía de 12 años. Garantía de eficiencia: 83% en el año 25. Instalación incluida (material y mano de obra) Tramite con CFE. Sistema de monitoreo	1	\$5,643.00 (USD)	\$5,643.00 (USD)
			SUBTOTAL	\$5,643.00 (USD)
			IVA 16%	\$908.88 (USD)
			TOTAL	\$6,545.88 (USD)
			Tipo de cambio	\$18.90 ²⁷ MXN
			TOTAL	\$123,717.13 ²⁸ MXN

Las condiciones comerciales que se implementan al momento de la compra del sistema fotovoltaico son:

- El flete y el seguro de envío es por parte del cliente.
- El tiempo de entrega es de 5 a 9 días a partir del recibo de pedido y anticipo.
- Condición de pago: 50% de enganche + 50% contra aviso de embarque.
- Si se llegara a cancelar el proyecto, se hará un cargo del 15% del calor total de la cotización y se cobrará del anticipo.
- El sistema se mantendrá apagado hasta la instalación del medidor bidireccional de CFE, ya que este puede tardar de una a ocho semanas.
- El estimado de energía (kWh) por generar en 12 meses puede fluctuar de un $\pm 4.00\%$ a un $\pm 7.00\%$
- La fase de pruebas en sitio del sistema fotovoltaico se inicia de 2 a 3 días hábiles por un Técnico Certificado Industronic autorizado por Nortec Energía Limpia S.A. de C.V. después de que el medidor bidireccional haya sido instalado.

²⁷ Precio del dólar del día 18/10/2018

²⁸ El precio puede variar según el tipo de cambiío que se maneje en el banco Santander el día de pago.

COTIZACIÓN DE PIENSA VERDE

Con la empresa Piensa Verde, se realizó la cotización del sistema fotovoltaico, el cual incluye:

- Paneles fotovoltaicos.
- Inversor de corriente.
- Protecciones eléctricas.
- Estructuras para los paneles.
- Materiales y mano de obra.
- Trámite con CFE (incluido el medidor bidireccional).

PROPUESTA DE INVERSIÓN

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 10 MÓDULOS 360W C/U
PRODUCCIÓN DIARIA DE 14 Kwh. BIMESTRAL 840 Kwh- FOLIO 233



Costo de Inversión: \$85,000.00 MXN

* Estos precios ya incluyen I.V.A.

*Condiciones de pago: 60% anticipo, 40% al finalizar día de instalación.

Ilustración 33 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico de Piensa Verde.

Esta empresa ofrece 10 paneles fotovoltaicos de una capacidad de 360 W cada uno, teniendo como referencia que, en el hogar se tiene un consumo bimestral promedio de 840 kWh o 14 kWh/día (en la teoría de este trabajo da 13.86 kWh/día), por lo que, a partir de este resultado, podemos calcular la capacidad del sistema fotovoltaico que esta empresa está manejando:

$$P_{SFV} = \frac{14 \text{ kWh/día}}{4.556} = 3.07 \text{ kW}$$

Teniendo una diferencia con la capacidad calculada que se hizo previamente (3.044 kW) de un 0.02 kW.

El tipo de panel fotovoltaico que proporcionan es el modelo SE-159-M-78 de la marca Solarever²⁹, monocristalino, entregando diariamente una potencia promedio de 1.4 a 1.5 kWp, que tiene una garantía de 12 años de calidad con una calidad mayor del 90%, a los 25 años con una calidad del 80%. Una de sus características principales es su recubrimiento anti-reflejante y su alta transmisión del vidrio para aumentar la potencia de salida. A prueba de agua y condiciones climáticas difíciles. El espacio requerido para la instalación es de aproximadamente 20 m²

²⁹ Hoja de datos: https://drive.google.com/open?id=1KBr4644D-GA8DSWt-mFZ38hV_Y5U4_az

El inversor que están proponiendo es uno del tipo central marca Solis modelo 1P3.6K-4G³⁰ de cuarta generación, con una capacidad de 3.6 kW.



Ilustración 34 Inversor Solis propuesto por Piensa Verde.

Con el pronóstico que nos da la empresa, estiman que, el tipo de tarifa en la que se encuentra el hogar tendrá un aumento del 2.1% anual, por lo que, en unos años, la suma del total del precio de los recibos sería de \$18,660 MXN. El sistema que proponen tiene un costo de \$87,000 MXN, con estos datos, al cuarto año de generación, se obtendría el retorno de la inversión, teniendo los siguiente 22 años de consumo de energía sin costo y un ahorro de \$548,219 MXN. Después de la instalación, la empresa pronostica que el recibo de luz será de \$80 MXN bimestrales aproximadamente.

COTIZACIÓN DE C-VERDE.

Con la empresa C-Verde se realizó la cotización del sistema fotovoltaico, el cual incluye:

- Panel fotovoltaico.
- Inversor.
- Protecciones eléctricas.
- Estructuras para los paneles.
- Materiales y mano de obra.
- Trámite con CFE (incluido el medidor bidireccional)

Esta empresa propone 10 paneles fotovoltaicos de Marca Eco Green Energy modelo 320P-72³¹ de 320 Wp cada uno, con el cual, se estima que la capacidad de la instalación sea de 3.2 kW, con un consumo de 6.25 kWh diarios, teniendo una diferencia con la capacidad anteriormente calculada de 0.156 kW.

³⁰ Hoja de datos: <https://drive.google.com/open?id=1DVLu2Hqota4n6KH3fnL7VsYZfUCqrAPU>

³¹ Hoja de datos: <https://drive.google.com/open?id=1dYVWcbvHjKSZ6MBkuvojdjFAQ0bT18n>

La superficie de uso de cada panel es de 1.94 m², por lo que el conjunto de 10 paneles, se necesita un área aproximada de 28 m² para su instalación.

Los micro inversores que están proponiendo para la instalación son de la marca NEP modelo BDM-300X2³², el cual tiene una alta eficiencia, de un 95.5%

El desglose de costos que nos dan por la instalación es:

Tabla 18 Precios del sistema fotovoltaico por C-Verde

Cantidad	Descripción	Total
1	Sistema solar para interconexión a red de 3.2 kWp, salida bifásica a 220 o 240 V _{CA}	\$4,550.00 (USD)
1	Instalación y materiales.	\$1,130.00 (USD)
	Subtotal	\$5,680.00 (USD)
1	Preparación de caja para medidor bidireccional y gastos de interconexión a la red.	\$580.00 (USD)
	Total con IVA	\$6,260.00 (USD)
	Tipo de cambio	\$19.36 MXN ³³
	Total	\$121,193.60 MXN

Las condiciones comerciales que tiene la empresa al momento de la compra del sistema son:

- Se requiere de un 75% de anticipo.
- El 25% restante se realizará al finalizar la instalación.
- El tiempo de entrega es de común acuerdo confirmado la O.C.
- De requerir estructura y material extra, se cobrará aparte.

COTIZACIÓN DE ETESLA

Con la empresa eTesla se realizó la cotización del sistema fotovoltaico, el cual incluye:


- Paneles fotovoltaicos.
- Inversor.
- Estructuras para los paneles.
- Protecciones eléctricas.
- Trámite con CFE (incluido el medidor bidireccional).
- Material y mano de obra según lo calculado.

³² Hoja de datos: <https://www.synergy21.de/fileadmin/transfer/products/135185.pdf>

³³ Precio del dólar del día 22/10/2018



Presupuesto

Descripción de su propuesta financiera: **Paquete Fotovoltaico de 2.8 kWp**


CANTIDAD	CONCEPTO	PRECIO
8	Canadian policristalino 350W	\$4,497 USD
1	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	
	Kit de estructuras de aluminio especiales para módulos fotovoltaicos	
	Otros materiales eléctricos varios para la instalación incluye cable fotovoltaico, protecciones eléctricas	

Ilustración 35 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico de eTesla.

Esta empresa nos da una cotización de 8 paneles fotovoltaicos policristalinos, marca Canadian Solar modelo CS6U-350P³⁴ de 350 W cada uno, para el sistema que estiman de 2.8 kWp, con una garantía de 25 años, con una eficiencia del 85%. Comparando la capacidad del sistema con el calculado anteriormente que era de 3.044 kW, la diferencia es de 0.244 kW. La superficie de uso de cada panel es de 1.94 m², por lo que el conjunto de 8 paneles, se necesita un área aproximada de 23 m² para su instalación.

De igual forma, dan una opción de inversor de marca ABB UNO-DM-3.3-TL-PLUS³⁵, teniendo una capacidad para 3.5 kW y una garantía de 10 años de eficiencia.

Dentro de los materiales incluidos en el presupuesto, incluyen 30 metros de cable de los paneles al inversor central, considerando las caídas de tensión. Si se llegase a necesitar material extra por sobredimensionamiento de instalación, tendría un costo extra.

El presupuesto que nos dan es de \$4,497 USD, que en moneda de cambio sería aproximadamente de \$82,070.25 MXN, con impuestos y envió el precio final que nos dan es de \$99,114 MXN³⁶, el cual, según su pronóstico de ahorro mensual que es de \$2,129 MXN, se tendrá un retorno de la inversión en 4 años aproximados.

³⁴ Hoja de datos: https://drive.google.com/open?id=17AvxCecLaLNR_Y56eyk3sqyPFvNfLfcV

³⁵ Hoja de datos: <https://drive.google.com/open?id=1ADh1wUUKGpOSut8Mf3n2BffDUxv9BS75>

³⁶ Este precio puede variar según el tipo de cambio reportado por el banco Banorte, El precio tomado es de \$18.25 MXN de día 25/10/2018

Con este sistema, la empresa nos asegura que, del consumo bimestral de 831 kWh que se tiene, con el sistema fotovoltaico se generaría 672 kWh, por lo que el consumo de CFE sería de 159 kWh a partir de la instalación, teniendo un pago aproximado de \$146 MXN, teniendo un ahorro bimestral de \$4,258 MXN y anual de \$25,548 MXN.

Para obtener el sistema se requiere de un 50% de anticipo, 35% antes del embarque de equipos y 15% posterior a la instalación.

COTIZACIÓN DE SOLNOVA

Con la empresa SolNova se realizó la cotización del sistema fotovoltaico, el cual incluye:

- Paneles fotovoltaicos.
- Micro inversores de corriente.
- Estructura de soporte.
- Sistema de monitoreo.
- Protecciones en DC y AC.
- Material y mano de obra.
- Trámite con CFE (incluido medidor bidireccional).

Esta empresa ofrece 9 paneles fotovoltaicos de una capacidad de 350 W cada uno, teniendo como estimación una producción mensual de 433.41 kWh o 14.447 kWh/día (comparado con la teoría de este trabajo que fue de 13.86 kWh/día), con estos datos, podemos hacer el cálculo de cuál es la capacidad que tienen para el sistema fotovoltaico propuesto:

$$P_{SFV} = \frac{14.447 \text{ kWh/día}}{4.556} = 3.17 \text{ kW}$$

Se tiene una diferencia con la capacidad teórica calculada en este trabajo previamente de 0.1 kW.

El panel fotovoltaico que se propone por parte de la empresa es de la marca CanadianSolar modelo CS3U-345P³⁷, los cuales tienen tecnología LIC (Low Internal Current o Corriente Interna Baja) la cual le da poca pérdida en la interconexión entre las celdas. Tiene eficiencia contra sombreado ya que tiene 2 módulos en 1 con 144 celdas. También tienen bajo riesgo de puntos calientes. La empresa da 10 años de garantía del producto y 25 de potencial lineal.

³⁷ Hoja de datos: https://sicesolar.com.br/wp-content/uploads/2017/12/CSI_KuMax_CS3U-345-360-P.pdf



Los micro inversores que están proponiendo son de la marca Enphase modelo IQ7PLUS-72-2-US³⁸ los cuales son de alta potencia y aptos para redes eléctricas inteligentes, simplifican el proceso de instalación de manera drástica, mientras alcanzan el máximo nivel de eficiencia para el sistema electrónico de potencia de cada módulo. Amplían los estándares de confianza establecidos por las generaciones anteriores y se someten a más de un millón de horas de pruebas de encendido. La empresa da 10 años de garantía a partir de los primeros 4 meses³⁹ de la fecha de envío del producto desde Enphase y la instalación producto en la ubicación del usuario final.

Tabla 19 Precios del sistema fotovoltaico de SolNova

Descripción	Cantidad
Paneles Canadian Solar	9
Micro Inversores Enphase IQ7PLUS-72-2-US	9
Estructura de soporte de hacer al carbón de aluminio.	1
Sistema de monitoreo y control Enphase Envoy-s	1
Cuadro de protecciones, interruptores de corte DC, varistores DC, interruptor diferencial AC, magneto-térmicos AC, varistores AC, fusibles, cableado DC/ACm cable Condumex	1
Subtotal	\$5,985.00 USD
IVA 16%	\$957.60 USD
Total	\$6,942.70 USD
Tipo de cambio	\$20.08 MXN ⁴⁰
Total	\$139,409.41 MXN

El costo del sistema es de \$5,985 USD (sin IVA). En el estudio de amortización de la empresa, tienen un estimado de producción de generación de energía de 5,201 kWh/año, con lo que, el precio del kW es de \$0.22 USD con un aumento de la tarifa anual del 8%, se estima que la recuperación de la inversión de la instalación fotovoltaica sea a 5 años aproximadamente. Las condiciones de pago que da la empresa es del 65% de anticipo, 20% de la entrega del material y 15% tras la finalización de la instalación.

³⁸ Hoja de datos: <https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/IQ7-IQ7plus-DS-EN-US.pdf>

³⁹ La garantía no aplica cuando, una vez instalado, operado, manejado o usado de forma incorrecta, lo que incluye el uso bajo condiciones para las cuales no se diseñó el producto, el uso en ambiente inadecuado o el uso de manera contraria al Manual de Usuario de Enphase o a las leyes o normas aplicables.

⁴⁰ Precio del dólar del día 30/10/2018

COTIZACIÓN DE IEM SOLAR

Con la empresa IEM Solar se realizó la cotización del sistema fotovoltaico, el cual incluye:

- Paneles fotovoltaicos.
- Micro inversores.
- Estructuras de soporte para los paneles.
- Protecciones para DC y AC.
- Accesorios de instalación para las protecciones.
- Accesorios de interconexión.
- Mano de obra.
- Trámites con CFE (incluido el medidor bidireccional).

CUADRO DE PRECIOS:

Partida	Código	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario
1	SFVIR – 2.64kWp	1	Kit	SISTEMA FOTOVOLTAICO DE INTERCONEXION A LA RED 2.64 kWp. (AREA A OCUPAR 24 m2)	\$ 5,100.00 usd + IVA

Ilustración 36 Fragmento de la cotización del sistema fotovoltaico propuesto por IEM Solar.

Esta empresa da como opción 8 paneles fotovoltaicos, teniendo como referencia que la potencia del sistema es de 2.64 kWp, a diferencia de lo calculado en este trabajo que fue de 3.044 kW (teniendo una diferencia de 0.404 kW).

Los paneles fotovoltaicos que manejan son de la marca Trinasol policristalinos de 330 W cada uno. Igualmente, los inversores que proponen son ocho micro inversores de la marca Enphase 220 VAC que garantiza una frecuencia eléctrica de 60 Hz.

Con el sistema fotovoltaico instalado pronostican que, del consumo de 14 kWh/día que tiene la residencia (según la teoría de este trabajo fue de 13.86 kWh/día), se tendrá una reducción a 12 kWh/día, con el cual, se tendrá una disminución de pagos de hasta el 86%, según la empresa. La garantía del sistema fotovoltaico es de 20 años. 5 años contra defectos de fábrica en paneles e inversores. Las condiciones de pago que da esta empresa es de un 50% de anticipo, 40% contra embarque a sitio, 10% a la entrega del contrato de CFE. El precio final por el sistema es de \$5,916 USD, en moneda nacional sería de \$117,018.48 MXN⁴¹ con IVA incluido.

⁴¹ El precio en moneda nacional puede variar según el cambio de dólar. El cambio se tomó de \$19.78 MXN del día 29/10/2018



PROPUESTAS DE ELEMENTOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

PANELES FOTOVOLTAICOS

También se puede realizar una cotización con la compra de paneles sin necesidad de una empresa dedicada a la instalación.

Con el dato de la capacidad teórica el sistema, calculada anteriormente, se puede hacer un estimado del número de paneles que se requiere instalar para poder sustentar el consumo requerido de la vivienda, según las potencias comerciales que existen de estos, con la siguiente fórmula:

$$N_{MFV} = \frac{P_{SFV}}{P_{MFV}}$$

Donde:

- N_{MFV} es el número de paneles fotovoltaicos necesarios.
- P_{SFV} es la potencia teórica del sistema fotovoltaico.
- P_{MFV} es la potencia o capacidad del panel fotovoltaico.

Teniendo como primera propuesta, está el panel fotovoltaico marca **IUSA policristalino modelo PV-01-250⁴² de 250 W**, el cual tiene 60 células solares en serie en una matriz de 6x10. Resistente a la intemperie con encapsulado EVA, Back Sheet. Marco de aluminio anodizado con toma a tierra. Con garantía de 25 años.

Tabla 20 Características eléctricas del panel fotovoltaico PV-01-250

Características	Valor
Potencia nominal	250 Wp
Voltaje a máxima potencia	30.6 V
Corriente a máxima potencia	8.17 A
Voltaje de circuito abierto	37.8 V
Corriente de cortocircuito	8.75 A
Corriente inversa máxima	15 A
Eficiencia	15.1%

Retomando la fórmula para contabilizar el número de paneles fotovoltaicos necesarios para la capacidad teórica del sistema de la casa (que fue de 3.044 kW), se puede calcular la cantidad de paneles IUSA de 250 W:

$$N_{MFV} = \frac{P_{SFV}}{P_{MFV}}$$

⁴² Hoja de datos: <https://es.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/31007>

$$N_{MFV} = \frac{3044 W}{250 Wp} = 12.176 \text{ paneles}$$

Por lo que se puede considerar 12 paneles para el sistema, creando un sistema fotovoltaico de 3kWp, teniendo un ahorro de generación con el sistema original del 98.55% aproximadamente.

Tomando sus dimensiones, se puede hacer un pronóstico del espacio requerido para la puesta de estos paneles en la casa habitación (99.3x166.8 cm) ocupando un área total de 16,563.24 cm² o lo que es igual 1.65 m² cada panel. En conjunto, los 12 paneles requerirán un área de 19.87 m² para su instalación.

El precio que tiene este panel fotovoltaico es de \$3,215 MXN⁴³ con IVA incluido, para el arreglo que se está estimando, el costo total sería de \$38,580 MXN.



215 vendidos

Panel Solar
Fotovoltaico Iusa
250w
Policristalino

★★★★★ 12 opiniones

\$ 3,215

📅 12 meses de \$ 317⁶²

VISA  

Más información

📦 Envío gratis a todo el país
Tehuacan, Puebla

Color: Azul

Voltaje de circuito abierto: 37.8 V

Voltaje máximo del sistema: 30.6 V

Ilustración 37 Panel fotovoltaico IUSA de 250 W.
Fuente: <https://bit.ly/2N615L3>

La siguiente propuesta es el panel fotovoltaico marca **IUSA monocristalino modelo PV-05-305⁴⁴ de 305 W**, el cual tienen 60 células de silicio de alta eficiencia. Tiene tecnología 5 Bus-Bar, PERC de emisor pasivo posterior que logra una mayor captación de luz solar.

⁴³ Precio tomado del día 05/11/2018

⁴⁴ Hoja de datos: <http://ws.iusa.com.mx/Documentacion/Nuevos/Fichas/IUSASOL-PV-05%20monocristalino%20.pdf>

Tabla 21 Características eléctricas del panel fotovoltaico PV-05-305

Características	Valor
Potencia nominal	305 W
Voltaje a máxima potencia	33.5 V
Corriente a máxima potencia	9.16 A
Voltaje de circuito abierto	39.9 V
Corriente de cortocircuito	9.65 A
Corriente inversa máxima	15 A
Eficiencia	18.5%



19 vendidos

Panel Solar Iusa
Pv-05-305 305 W
Monocrystalino
Tec 5bb



★★★★☆ 1 opinión

\$ 4,611

12 meses de \$ 455⁵³

Más información

Envío gratis a todo el país
Tehuacan, Puebla

Color: Negro

Voltaje de circuito abierto: 39.9 V

Voltaje máximo del sistema: 33.5 V

Ilustración 38 Panel fotovoltaico IUSA de 305 W.

Fuente: <https://bit.ly/2ICUINN>

Para conocer la cantidad de paneles necesario para el sistema que se está tomando, se realiza el mismo proceso que con el anterior:

$$N_{MFV} = \frac{3044 \text{ W}}{305 \text{ Wp}} = 9.98 \text{ paneles}$$

Por lo que se toma 10 paneles fotovoltaicos, lo cual hace un sistema fotovoltaico de 3.05 kW, teniendo un ahorro con respecto a la capacidad teórica inicial de 100.19%aproximadamente, volviendo la casa casi autosustentable o con un consumo nulo de CFE.

Al igual que en el caso anterior, por sus medidas (99 cm de ancho y 166 cm de largo), se puede estimar el espacio requerido. De un solo panel es de 16,434 cm², por lo que cada

uno tiene un área de 1.64 m², en conjunto, los 10 paneles requerirían de 16.5 m² de instalación.

El precio de estos paneles es de \$4,611 MXN⁴⁵ con IVA incluido, por lo que, el precio del arreglo total sería de \$46,110 MXN.

Otra propuesta sería el panel fotovoltaico policristalino de la marca **EGE modelo EGE-270-W**⁴⁶, el cual tiene un excelente desempeño en condiciones de poca luz, ideal para regiones calientes por su coeficiente de temperatura, es resistente a la corrosión de sal de amoníaco y ofrece una tolerancia positiva.

Tabla 22 Características eléctricas del panel fotovoltaico EGE-270-W

Características	Valor
Potencia nominal	270 W
Voltaje a máxima potencia	31.44 V
Corriente a máxima potencia	8.59 A
Voltaje de circuito abierto	38.45 V
Corriente de cortocircuito	9.03 A
Corriente inversa máxima	15 A
Eficiencia	16.6%

Para conocer la cantidad de paneles necesario para el sistema que se está tomando, se realiza el mismo proceso que con el anterior:

$$N_{MFV} = \frac{3044 \text{ W}}{270 \text{ W}_p} = 11.27 \text{ paneles}$$

Con lo cual se toma 11 paneles fotovoltaicos, haciendo un sistema de 2.97 kW, teniendo un ahorro con respecto a la capacidad teórica inicial de 97.56% aproximadamente.

Al igual que en el caso anterior, por sus medidas (99.1 cm de ancho y 164 cm de largo), se puede estimar el espacio requerido. El área total de un solo panel es de 16,252.4 cm², por lo que cada uno tiene un área de 1.62 m². En conjunto, los 11 paneles requerirían de 17.87 m² de instalación.

El precio de estos paneles es de \$3,549 MXN⁴⁷ con IVA incluido, por lo que el precio del sistema sería de \$39,039 MXN.

⁴⁵ Precio tomado del día 05/11/2018

⁴⁶ Hoja de datos: <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/34078>

⁴⁷ Precio tomado el día 05/11/2018



Nuevo - 27 vendidos

Panel Solar De
270w Fide
Inteconexion Con
Cfe



\$ 3,549

18 meses de \$ 197⁷ sin
intereses



Más información

Envío gratis a todo el país
Tlalnepantla de Baz, Estado De
México

Ilustración 39 Panel fotovoltaico EGE de 270 W.

Fuente: <https://bit.ly/31T2x44>

Otra propuesta sería los paneles policristalinos de la marca ***IQ Energía Solar modelo 270w2***, los cuales, se venden en pares junto con su base de aluminio, que proporciona una inclinación aproximada de 25°.

Tabla 23 Características eléctricas del panel fotovoltaico 270w2

Características	Valor
Potencia nominal	265 W
Voltaje a máxima potencia	31.5 V
Corriente a máxima potencia	8.74 A
Voltaje de circuito abierto	38.4 V
Corriente de cortocircuito	9.28 A
Corriente inversa máxima	15 A
Eficiencia	16.8%

Para conocer la cantidad de paneles necesario para el sistema que se está tomando, se realiza el mismo proceso que con el anterior:

$$N_{MFV} = \frac{3044 \text{ W}}{270 \text{ Wp}} = 11.27 \text{ paneles}$$

Con lo cual se toma 10 paneles fotovoltaicos (ya que los venden en pares), haciendo un sistema de 2.7 kW, teniendo un ahorro con respecto a la capacidad teórica inicial de 88.69% aproximadamente.

Al igual que en el caso anterior, por sus medidas (99 cm de ancho y 167 cm de largo), se puede estimar el espacio requerido. El área total de un solo panel es de 16,533 cm², por lo que cada uno tiene un área de 1.65 m². En conjunto, los 10 paneles requerirían de 16.53 m² de instalación.

El precio del par de estos paneles es de \$8,790 MX⁴⁸ con IVA incluido, por lo que el precio del sistema sería de \$43,950 MXN más envío (el envío es de \$650 MXN por par), lo que el precio subiría a \$47,200 MXN.



Ilustración 40 Paneles fotovoltaicos IQ Energía Solar de 270 W.
Fuente: <https://bit.ly/2Ky00Hd>

Una última propuesta de paneles fotovoltaicos son los policristalinos de la marca **Recom modelo RCM-P672-330T⁴⁹** de 330 W, los cuales tienen tecnología alemana con 25 años de garantía.

Tabla 24 Características eléctricas del panel fotovoltaico RCM-P672-330T

Características	Valor
Potencia nominal	330 W
Voltaje a máxima potencia	38.49 V
Corriente a máxima potencia	8.61 A
Voltaje de circuito abierto	47.12 V
Corriente de cortocircuito	8.86 A
Corriente inversa máxima	15 A
Eficiencia	17.01%

⁴⁸ Precio tomado el día 05/11/2018

⁴⁹ Hoja de datos: <http://www.solar design tool.com/components/module-panel-solar/RECOM/3557/RCM-330-6MA/specification-data-sheet.html>



Nuevo

**Panel Solar
Recom
Policristalino
330w Tecnologia
Alemana**



\$ 4,299

📅 12 meses de \$ 424⁷¹



Más información

📦 Envío gratis a todo el país
Benito Juárez, Distrito Federal

Cantidad: 1 unidad ▼ (10 disponibles)

Ilustración 41 Panel fotovoltaico RECOM de 330 W.

Fuente: <https://bit.ly/2XwqAqg>

Para conocer la cantidad de paneles necesario para el sistema que se está tomando, se realiza el mismo proceso que con el anterior:

$$N_{MFV} = \frac{3044 \text{ W}}{330 \text{ Wp}} = 9.22 \text{ paneles}$$

Con lo cual se toma 9 paneles fotovoltaicos, haciendo un sistema de 2.97 kW, teniendo un ahorro con respecto a la capacidad teórica inicial de 97.56% aproximadamente.

Al igual que en el caso anterior, por sus medidas (99.2 cm de ancho y 164 cm de largo), se puede estimar el espacio requerido. El área total de un solo panel es de 16,268.8 cm², por lo que cada uno tiene un área de 1.62 m². En conjunto, los 9 paneles requerirían de 14.64 m² de instalación.

El precio del par de estos paneles es de \$4,299 MX⁵⁰ con IVA incluido, por lo que el precio del sistema sería de \$38,691 MXN.

⁵⁰ Precio tomado el día 05/11/2018

INVERSORES

Teniendo las propuestas independientes de los paneles fotovoltaicos, ahora se puede hacer propuesta de inversores para los sistemas antes dichos.

Tabla 25 Capacidades de los sistemas fotovoltaicos según las propuestas independientes de paneles fotovoltaicos

Marca del panel	Capacidad del sistema
IUSA	3 kWp
IUSA	3.05 kWp
EGE	2.97 kWp
IQ	2.7 kWp
Recom	2.97 kWp

En la selección del inversor se debe tener en cuenta la potencia continua máxima a la salida y tiene que ser al menos la demanda total, o sea, tiene que ser un inversor un poco sobredimensionado para futuras conexiones o por si la demanda crece. En este caso se tomarán de valores cercanos a las capacidades de los sistemas propuestos anteriormente.

Teniendo como primera propuesta el inversor **Solis-mini-3000**⁵¹, el cual es compacto y ligero, tiene una eficiencia del 97% como máximo, con un rango de entra de 50 a 400 V y con una salida de 208 a 220 V, contiene una interfaz WiFi/GPRS compatible con Android y iOS, cuenta con 5 años de garantía.

La ventaja de este inversor es que contiene protecciones internas como protección de corto circuito, protección de sobre corriente de salida, protección de sobre voltaje de salida, monitoreo de resistencia de aislamiento, detección de corrientes residuales, protección contra sobre voltaje, protección de isla, protección de temperatura, interruptor de corriente directa y protección contra inversión de polaridad de corriente directa.

Se puede observar algunas especificaciones del inversor en la siguiente tabla:

Tabla 26 Especificaciones del inversor Solis-mini-3000


Descripción	Valor
Tiempo de vida	>20 años
Potencia máxima de entrada	3.5 kW
Voltaje máximo de entrada DC	600 V
Voltaje de inicio DC	90 V
Corriente máxima de entrada	11 A

⁵¹ Hoja de datos: <https://www.wagner-renewables.com/wp-content/uploads/2017/07/Solis-Mini-4G-Series-Inverter-700-3600W-Data-Sheet.pdf>

Descripción	Valor
Potencia nominal de salida	3 kW
Potencia aparente máxima de salida	3.3 kVA
Potencia máxima de salida	3.3 kW
Voltaje nominal de red AC	230 V
Rango de voltaje de red AC	160-285 V
Rango de frecuencia de red	50/60 Hz
Fases de conexión	Monofásica
Corriente nominal de salida de red	13 A
Corriente máxima de salida	15.7 A
Factor de potencia	-0.8 ~ +0.8
Eficiencia máxima	97.5%



Nuevo - 2 vendidos

Inversor Solis 3kw 
208-220v Con
Interconexion
Paneles Soles

\$ 20,200

 12 meses de \$ 1,995⁵⁹


 

[Más información](#)

 **Envío gratis a todo el país**

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

 **Devolución gratis**

Tienes 10 días desde que lo recibes

Ilustración 42 Inversor Solis de 3kW.

Fuente: <https://bit.ly/2IB28fg>

La siguiente propuesta es el inversor marca **Connera modelo Forteplus3km2/2⁵²**, el cual puede otorgar una potencia para sistemas de 3 kW, con una eficiencia del 97%. La gran ventaja de este inversor es que se puede realizar las conexiones necesarias sin abrir la cubierta del mismo, incluye monitoreo vía WiFi integrado compatible con Android y iOS, al igual que no necesita mantenimiento regular, solo con limpiar el polvo acumulado en el disipador de calor para incrementar su vida útil. Tiene una garantía del vendedor de 10 años y está certificado por la norma IEC EN 62109-1 y EN 62109-2.

⁵² Hoja de datos: https://www.bmasdigital.com/image/data/Manuales/Serie-Forte-Plus_ft.pdf



Nuevo - 1 vendido

Inversor De Interconexion A Cfe Monitoreo Wifi 3 Kwp Fide

\$ 23,700

18 meses de \$ 1,316⁶⁷ sin intereses

VISA  Más información

Envío gratis a todo el país
Conoce los tiempos y las formas de envío.
[Calcular cuándo llega](#)

Devolución gratis
Tienes 10 días desde que lo recibes

Cantidad: 1 unidad (10 disponibles)

Ilustración 43 Inversor Connera de 3kW.
Fuente: <https://bit.ly/2X206gY>

Cuenta con protecciones incluidas de polaridad inversa, cortocircuito, sobre corriente de salida, sobre voltaje de salida – varistor, monitoreo de falla a tierra, monitorización de red, anti – aislamiento y protección de temperatura. En la siguiente tabla se puede observar alguna de sus especificaciones⁵³:

Tabla 27 Especificaciones del inversor Connera Forteplus 3km2/2

Descripción	Valor
Máxima potencia de entrada	3.2 kW
Potencia nominal de salida	3 kW
Máximo voltaje de entrada de circuito abierto en DC	550 V
Voltaje de inicio en DC	150 V
Corriente máxima de entrada en DC	12 A
Rango de voltaje de la red en AC	180 a 270 V
Voltaje nominal de la red en AC	220 – 230 V
Fases de conexión	Monofásico
Máxima corriente de salida	15 A
Factor de potencia	-0.95 ~ +0.95
Frecuencia nominal de la red	50/60 Hz
Eficiencia máxima	>97.8%

⁵³ Manual de instalación:
https://www.vde.com.mx/.../dl/.../fu_manual_de_instalacion_modelos_1_6_kw.pdf

Otra propuesta sería, de esta misma marca, pero con una capacidad de 4 kW, el modelo Forteplus4km2/2⁵², que cuenta con las mismas características de hardware y protecciones internas que el modelo 3km2/2. En la siguiente tabla se aprecian algunas de sus características principales:



Ilustración 44 Inversor Connera de 4 kW.

Fuente: <https://bit.ly/2Lgkcx3>

Tabla 28 Especificaciones del inversor Connera Forteplus 4km2/2

Descripción	Valor
Máxima potencia de entrada	4.2 kW
Potencia nominal de salida	4 kW
Máxima voltaje de entrada de circuito abierto en DC	550 V
Voltaje de inicio en DC	150 V
Corriente máxima de entrada en DC	16 A
Rango de voltaje de la red en AC	180 a 270 V
Voltaje nominal de la red en AC	220 - 230 V
Fases de conexión	Monofásico
Máxima corriente de salida	16 A
Factor de potencia	-0.95 ~ +0.95
Frecuencia nominal de la red	50/60 Hz
Eficiencia máxima	>97.7%

Una última propuesta de inversor es de la marca **Goodwe modelo GW3000-NS⁵⁴**, el cual cuenta con monitoreo vía WiFi compatible para sistemas Android y iOS, con una eficiencia del 97% y un 30% más ligero que otros inversores similares de otras marcas, al igual que tiene un 20% de optimización de espacio.

Tabla 29 Especificaciones del inversor Goodwe GW3000-NS

Descripción	Valor
Potencia máxima de entrada	3200 W
Voltaje máximo de entrada DC	500 V
Voltaje de inicio	80 V
Corriente máxima de entrada	18 A
Potencia nominal AC	3000 W
Potencia máxima de salida	3000 W
Corriente máxima de salida	13.5 A
Salida nominal AC	50/60 Hz; 230 V
Factor de potencia	-0.9 ~ +0.9
Conexión	Monofásica
Eficiencia máxima	97.5%

Al igual que lo demás, cuenta con protecciones integradas como el monitoreo de corriente residual, la protección anti isla, interruptor de corriente directa, protección de sobrecorriente en alterna y monitoreo de asilamiento. En la siguiente tabla se pueden apreciar algunas de sus principales características:




Nuevo

Inversor Solar Central 3000w Con Wifi- Goodwe 3000-ns

\$ 18,807⁹⁵

18 meses de \$ 1,044⁹⁹ sin intereses

VISA 

Más información

Envío gratis a todo el país
Tijuana, Baja California

Cantidad: 1 unidad (5 disponibles)

Comprar ahora

Compra Protegida, recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

Ilustración 45 Inversor Goodwe de 3kW.
Fuente: <https://bit.ly/2ZFY4Qn>

⁵⁴ Hoja de datos: <https://www.wagner-renewables.com/wp-content/uploads/2017/07/GoodWe-NS-Series-All-Models-Data-Sheet.pdf>



ARREGLO SERIE - PARALELO DE LOS PANELES

Para conocer la cantidad de paneles que se deben conectar en serie o paralelo en el arreglo fotovoltaico, se debe conocer cuál es su comportamiento en ambos casos para poder hacer el diseño apropiado.

La conexión en serie de los paneles fotovoltaicos tiene la particularidad de sumar los voltajes generados, pero la corriente se mantiene igual (al igual que en un circuito serie de baterías). Teniendo como ejemplos, si se conectan dos paneles fotovoltaicos, de características iguales, 12 V y 3 A, la energía resultante del arreglo será de 24 V y 3 A. Este tipo de conexiones se conoce como rama o string.

Una de las consideraciones que se debe tener al realizar este tipo de conexiones es cuando exista una falla, ya que, como en los circuitos series cualquiera, si un elemento falla, toda la rama deja de producir energía, por lo que se debe de cambiar este de inmediato, solamente que, debe de ser de las mismas características que los demás en la rama, ya que, si se usa un panel de menor corriente, esto puede alterar la eficiencia del arreglo. Como ejemplo, si se quiere conectar en serie un panel de 12 V y 3 A con uno de 6 V y 1 A, la salida de este arreglo sería de 18 V y 1 A, dado que el panel de menor capacidad es el que marcará la corriente máxima dentro de la instalación.

Con la conexión paralelo de los paneles fotovoltaicos ocurre lo contrario al serie, ya que, en vez de sumar los voltajes generados, suma la corriente de los paneles para tener mayor capacidad y los voltajes permanecen iguales.

La ventaja que tiene este tipo de conexión a comparación de la serie es que, cuando exista una falla en el arreglo, los demás paneles podrán seguir generando energía sin problema, aunque la capacidad de la instalación caiga. Como ejemplo, si se conecta dos paneles fotovoltaicos, de las mismas características, en paralelo de 12 V y 3 A, la salida del arreglo será de 12 V y 6 A.

Al igual que en el caso anterior, si se conecta un panel de capacidad diferente, el de menor capacidad será el que predomine en la instalación.

Lo que ocurre con la potencia de cada panel dentro de estos arreglos es similar en ambas, ya que, en todo circuito, las potencias de los elementos se suman para tener una resultante. En este caso, no afecta en gran medida la diferencia de potencias, solo en la cantidad de energía que se desea generar y se modifique en ciertas circunstancias.

Ahora, sabiendo cómo se comportan estos elementos con sus respectivas conexiones, se debe tener en cuenta los voltajes y corrientes mínimos y máximos de operación del inversor a usar, ya que, según este dato es el que va a definir cuántos paneles se necesitan tanto en serie como en paralelo.

De los inversores propuestos, se puede obtener estos datos importantes en la siguiente tabla:

Tabla 30 Voltajes y corrientes mínimas y máximas de los inversores propuestos

Características	Solis mini 3000	Forteplus 3km2/2	Forteplus 4km2/2	Goodwe GW3000-NS
Voltaje mínimo de entrada (DC)	90 V	150 V	150 V	80 V
Voltaje máximo de entrada (DC)	600 V	550 V	550 V	500 V
Corriente máxima de entrada (DC)	11 A	12 A	16 A	18 A
Corriente máxima de salida (AC)	15.7 A	15 A	16 A	13.5 A

Realizando el arreglo más sencillo, se conectan los paneles en serie, ya que, los inversores propuestos, su voltaje máximo de entrada es de 500 a 600 V. Se obtienen los siguientes valores:

Tabla 31 Cálculo de voltaje total en conexión serie de los paneles fotovoltaicos propuestos

Paneles fotovoltaicos	Cantidad de paneles	Voltaje Máximo	Voltaje máximo total en serie	Corriente máxima en serie
IUSA PV-01-250	12	30.6 V	367.2 V	8.17 A
IUSA PV-05-305	10	33.5 V	335 V	9.16 A
EGE-270-W	11	31.44 V	345.84 V	8.59 A
IQ 270w2	10	31.5 V	315 V	8.74 A
RCM-P672-330T	9	38.49 V	349.41 V	8.61 A

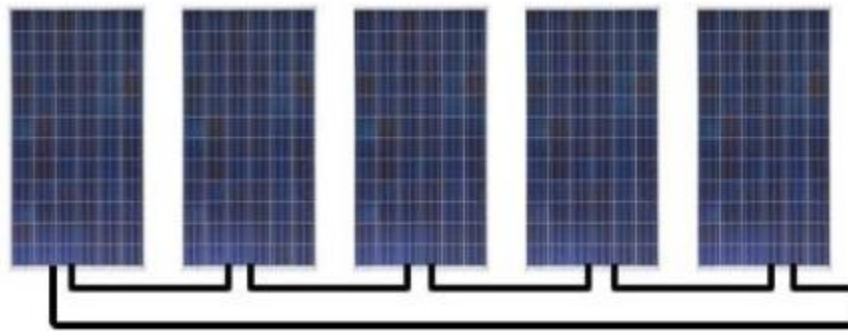


Ilustración 46 Ejemplificación de la conexión en serie de los paneles fotovoltaicos.

La ventaja que se tiene al realizar esta conexión es que las corrientes máximas que admiten los inversores son bajas, por lo que realizar una conexión en paralelo haría que esta se elevara y no fuera factible la instalación. Aparte de que los inversores admiten altos voltajes dando como salida 120 - 127 V en alterna que se requieren para la interconexión.

Como se vio anteriormente, las potencias de los paneles, independientemente que estén conectados en serie o paralelo, se suman, por lo que la capacidad del arreglo fotovoltaicos permanece intacta.

PROTECCIONES EN DC

Para poder conocer bien el funcionamiento de las protecciones dentro del sistema fotovoltaico, se considerará las siguientes características de los paneles fotovoltaicos:

- Cuando existe una falla, los paneles actúan como fuentes de corriente.
- El voltaje de salida de este sigue presente aun cuando está desconectado.
- El voltaje máximo es alcanzado con niveles bajos de insolación.
- Existe el riesgo de descargas eléctricas con bajos niveles de radiación.
- Puede existir arcos eléctricos por tiempos prolongados.
- Al estar en la intemperie, son más propensos a sufrir fallas de aislamiento.

Una de las primeras protecciones existentes son los **diodos de bloqueo**, los cuales protegen a los módulos contra corrientes inversas en caso de falla a tierra y protegen el cableado de DC contra sobrecorrientes.

Otro tipo de protección son los **diodos de paso o Bypass**, que protegen a los módulos de posibles “puntos calientes” debido al efecto de “sombreado” por basura, aves, celdas dañadas o defectuosas (cell mismatch). Normalmente se usa uno o dos por módulo dependiendo de su capacidad. Estos ya vienen dentro de los paneles.

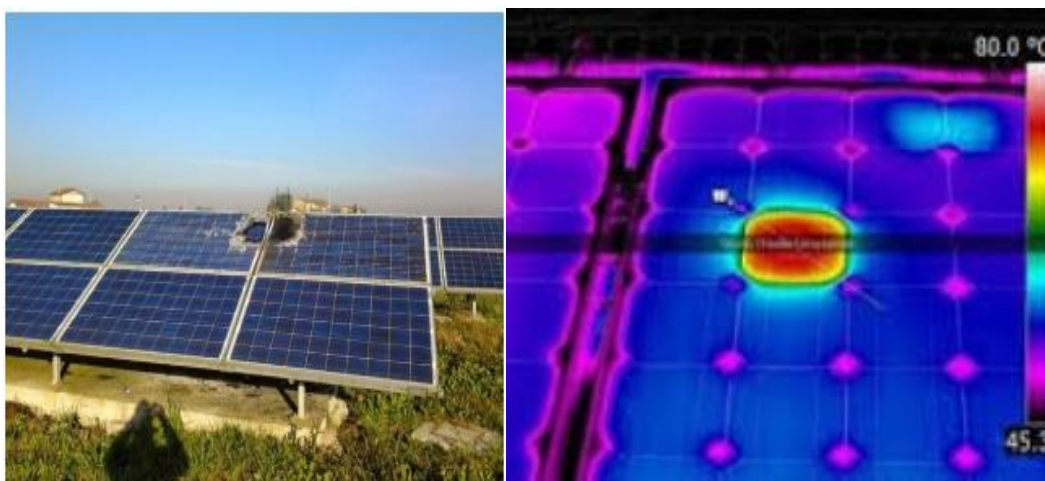


Ilustración 47 Resultado de una falla en "punto caliente"

Los varistores o descargadores de sobretensión son dispositivos que evitan la existencia de aparición de sobretensiones inducidas dentro del equipo, ya sea por las “espiras” que hay dentro de la instalación o por descargas atmosféricas.

Los **fusibles en los circuitos serie** son una protección de respaldo contra fallas a tierra en caso de que algún diodo de bloqueo esté en corto. Estos protegen los

conductores de la instalación y se deben colocar uno en cada polo. Con esto se puede ahorrar el uso de diodos de bloqueo.

Los dispositivos de sobrecorriente son normalmente los **interruptores termomagnéticos** que, además de proveer protección, también sirven como medio de desconexión. Su calibración nominal debe de ser entre 125% y 150% de la corriente de corto circuito. Es preferente usar dispositivos con retraso de tiempo para evitar desconexiones por sobrecorrientes transitorias. Son una opción en vez de los fusibles.

La **puesta a tierra** permite proteger a las personas y a los equipos contra fallas de aislamiento. Todas las partes metálicas del sistema que no forman parte de los circuitos, deben estar conectados a tierra, formando una malla equipotencial. El sistema de tierras de los equipos debe ser el mismo que el del sistema de DC si este último está aterrizado. Las principales funciones de un sistema de tierras son; reducir el daño a equipos por voltajes inducidos, estabilizar el voltaje del sistema y facilitar la detección y eliminación de las corrientes de falla.

Cuando existen tres cadenas o más de módulos en paralelo, se debe proteger cada una. Cuando se tiene menos de tres cadenas en paralelo de módulos, no es necesario ya que no genera la suficiente corriente como para dañar el sistema. En este caso, como se considera una sola rama, solo se hace el cálculo para esta.

En esta instalación se propone el sistema de protecciones que se muestra en el [Anexo 12](#), donde solo se usará pastillas termomagnéticas como protección contra sobrecorrientes y supresores de picos como protección contra sobrevoltajes en la parte de generación de corriente directa.

En la selección de los supresores de picos se considera el voltaje máximo admisible de los inversores y el voltaje máximo del arreglo de los paneles en serie, los cuales son entre 500 – 600 V y 350 V respectivamente, el rango sería de 350 a 600 V (Tabla 40 y 41). Por lo cual, se decide optar por un dispositivo en este rango.

La propuesta que se tiene es el supresor Suntree SUP2 PV,2P-500VDC⁵⁵, el cual es ideal para corriente directa y sistemas fotovoltaicos. Admite hasta un máximo de 500 V, el cual, entra en el rango especificado anteriormente.

Esta protección puede ser usada tanto en la salida de los paneles, como para la entrada del inversor. Se debe considerar que el precio de cada supresor puede variar según el proveedor o tienda.

⁵⁵ Hoja de datos: <https://www.chinasuntree.com/surge-protective-device/sup2-pv-surge-protector.htm>

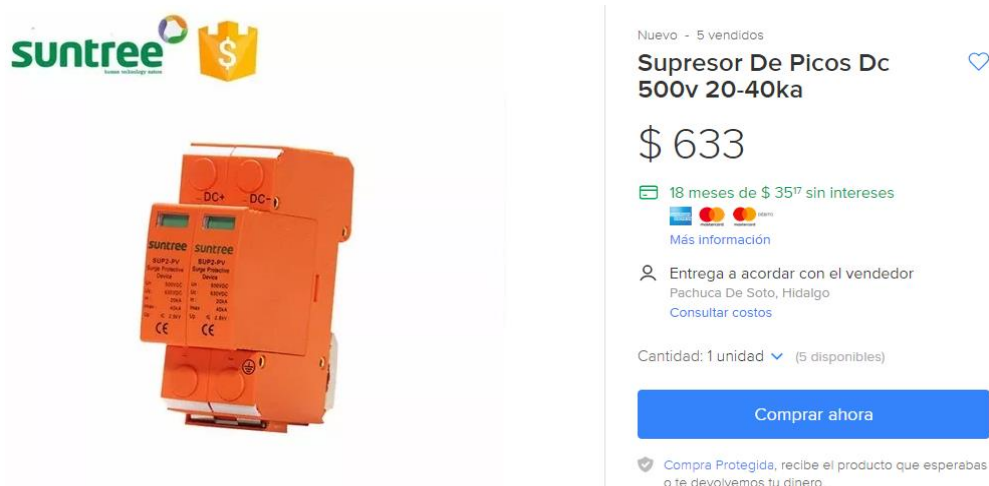


Ilustración 48 Supresor de picos Suntree.

Fuente: <https://bit.ly/2Lbtzhu>

Tabla 32 Especificaciones del supresor de picos Suntree

Descripción	Valor
Número de polos	2
Voltaje en DC máximo	500 V
Corriente máxima	40 kA

En la selección de las pastillas termomagnéticas, en la parte de directa, ([Ver Anexo 12](#)), la corriente que se usa en este punto es de 8 – 9 A aproximadamente (Tabla 41), agregando un margen de protección para evitar el disparo de estas en cada momento por picos generados. Con este dato se hace la propuesta de selección del equipo.

La propuesta que se tiene es la pastilla ABB S-200-M-UC⁵⁶, la cual es de 16 A en DC nominales y con un rango de 500 V en DC, ideal para el arreglo fotovoltaico, con dos polos para poder proteger tanto el polo positivo como el negativo de la instalación en la parte de directa. Es de disparo simultaneo en ambos polos.

Se sugiere la protección de 16 A para tener un rango de protección dentro de la instalación. Se debe tener en cuenta que su precio mostrado incluye envío.

Tabla 33 Especificaciones de la pastilla termomagnética ABB

Descripción	Valor
Número de polos	2
Voltaje en DC máximo	253 V
Corriente máxima	16 A

⁵⁶ Hoja de datos:

<https://library.e.abb.com/public/cd9dbd4aef619f03c1257e2f00448bbb/2CDC002142D0207.pdf>



Nuevo - 15 vendidos

Pastilla Termomagnética 2 

Polos 16 Amps 460ac /500vdc

\$ 1,000

12 meses de \$ 98⁷⁹

[Más información](#)

 **Envío gratis a todo el país**
 Conoce los tiempos y las formas de envío.
[Calcular cuándo llega](#)

 **Devolución gratis**
 Tienes 10 días desde que lo recibes

Cantidad: 1 unidad  (7 disponibles)

[Comprar ahora](#) [Agregar al carrito](#)

Ilustración 49 Pastilla termomagnética ABB.

Fuente: <https://bit.ly/2I4YoS1>

Para poder montar estos dispositivos en un centro de carga, como son de riel, se necesita un centro de carga especial, de lo contrario, si se usan dispositivos enchufables, se requerirá de otro tipo de centro de carga.

También existen protección para los inversores de corriente, los cuales son:

- Protección contra operación en modo isla (islanding) Lo que sirve para evitar daños al personal de la compañía o usuarios por alimentar cargas con voltajes y frecuencias inapropiados.
- Los relevadores de voltaje y frecuencia son los principales medios de detección y desconexión del sistema en caso de disturbios en la red ocasionados por fallas.
- El control del factor de potencia.
- Control de emisión de armónicos que son distorsiones de voltaje causada por corrientes armónicas inyectadas a la red y puede provocar problemas de operación a equipos sensibles a la detección de cruces por cero y por sobrevoltajes peligrosos.
- Protección contra inyección de DC en la red a través de un transformador de aislamiento.
- Control de emisiones de radio frecuencia.
- Protección contra sobrevoltaje.
- Protección contra sobrecarga.
- Protección contra corrientes de falla.
- Protección contra fallas en el lado de DC: un diodo entre las terminales positivas y negativas contra cambios de polaridad del voltaje de entrada en inversores conmutados por línea.



PROTECCIONES EN AC

En las protecciones de la parte de alterna, se tienen los siguientes tres casos:

- Protección contra cortocircuito / Interruptor principal en AC que sirve, de igual forma para la desconexión del sistema en caso de falla tanto en red como en los elementos de la instalación, y para evitar pérdidas por la corriente de magnetización en inversores con transformador de baja frecuencia por la noche.
- Medio de desconexión manual que es el requisito para poder establecer la interconexión del sistema fotovoltaico a las líneas de alimentación.
- Punto de interconexión de sistemas residenciales en el lado de la línea del interruptor de servicio de la acometida normal sin ninguna restricción, y en el lado de la carga del interruptor de servicio siempre y cuando los interruptores que pueden ser alimentados con corriente en sentido inverso, estén especificados para tal operación.

Por lo que se considerarán tres dispositivos para la instalación en la parte de alterna:

- Pastilla termomagnética AC
- Interruptor diferencial AC
- Interruptor de cuchillas

En la selección de la pastilla termomagnética se considera el valor máximo de corriente de salida a la red que otorga el inversor, colocándolo en serie entre la salida de este y los interruptores diferenciales ([Anexo 12](#)).

Por la diferencia que tienen los valores de fábrica los diferentes inversores propuestos, se selecciona el interruptor apropiado para cada uno con sus valores comerciales, siempre teniendo en cuenta el porcentaje de protección, para que estos no se disparen a cada momento por manejar valores justos o muy próximos a los de fábrica.

Tabla 34 Selección de interruptores termomagnéticos a partir de la corriente máxima de salida de los inversores propuestos

Inversor	Corriente máxima de salida en AC	Corriente del interruptor termomagnético
Solis mini 3000	15.7 A	20 A
Forteplus 3km2/2	15 A	20 A
Forteplus 4km2/2	16 A	20 A
Goodwe GW3000-NS	13.5 A	15 A

En la selección del interruptor diferencial, se puede escoger uno de valores entre 30, 300 y 500 mA. El primero sirve para la protección de los usuarios contra una

descarga eléctrica. El de 300 se sugiere para protección contra incendios por las corrientes de fuga por el desgaste de los conductores en la instalación.

La capacidad de corriente del interruptor diferencial va de la mano junto con las pastillas termomagnéticas, ya que, están conectadas en serie en el mismo circuito, haciendo este ultimo la detección de una anomalía en el paso de corriente, por lo que se selecciona con una diferencia de 30 mA para seguridad de los usuarios.

Tabla 35 Selección de los interruptores diferenciales a partir de la capacidad de las pastillas termomagnéticas

Inversor	Pastilla termomagnética seleccionada	Interruptor diferencial seleccionado
Solis mini 3000	20 A	20 A
Forteplus 3km2/2	20 A	20 A
Forteplus 4km2/2	20 A	20 A
Goodwe GW3000-NS	15 A	15 A

El interruptor propuesto es el modelo Schneider de la gama Easy9, el cual tienen todas las capacidades deseadas para la instalación en propuesta. Es del mismo que los dispositivos anteriores, de riel. El voltaje admisible de estos interruptores es de 220 – 440 V



Ilustración 50 Interruptor diferencial.

Fuente: <https://bit.ly/2IEqIp>



Ilustración 51 Interruptor de cuchillas Square D.

Fuente: <https://bit.ly/2FugVGz>

De igual forma, para poder concluir con las protecciones en alterna, se decide colocar un interruptor de cuchillas para poder realizar la desconexión de la red cuando sea necesaria de forma segura y sin desgastar el mecanismo de los otros dispositivos.

Este interruptor de cuchillas se selecciona en base a la corriente de salida del inversor, la cual es inyectada a la red de CFE, por lo que su rango es de 8 – 9 A y al número de polos que se van a conectar, en este caso únicamente se usarán dos (fase y neutro). Por ser el de menor capacidad comercialmente, se propone el interruptor marca Square D DU221RB de 30 A de capacidad de dos polos sin fusible, el cual será



colocado al final de la instalación, antes del medidor bidireccional como medio de desconexión de la red.

CÁLCULO DE LOS CONDUCTORES

Para poder tener la mejor eficiencia en la transmisión de energía, se debe calcular los conductores y sus calibres correctos, por lo que se debe tener en consideración los siguiente:

- ***Criterios de intensidad máxima admisible o de calentamiento.***
La temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga en régimen permanente, no deberá superar en ningún momento la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los conductores y suele ser de 70°C para cables con aislamiento termoplástico y de 90°C para cables con aislamiento termoestable.
- ***Criterio de la caída de tensión.***
La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión. Ésta debe ser inferior a los límites marcado por la norma. Este criterio suele ser el determinante cuando las líneas son de larga longitud.
- ***Criterio de la intensidad de cortocircuito.***
La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobrecorriente de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura suele ser de 160°C para cables con aislamiento termoplástico y de 250°C para cables con aislamiento termoestables. Este criterio no es determinante en las instalaciones de baja tensión ya que, por una parte, las protecciones de sobrecorriente limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves, y además las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito.

Mencionado esto, la selección del conductor de acuerdo a su capacidad (corriente eléctrica) tipo de aislamiento, temperatura de operación y método de operación, hay que considerar que, de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012, si la corriente en el circuito es mayor a 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75°C. Si la corriente del circuito es menor a 100 A, se elige una temperatura de operación de 60°C.

En este caso, se toma en cuenta la corriente (directa) de salida del arreglo fotovoltaico a las protecciones que se dispondrán y de estas al inversor, en primera instancia. Seguido se tomará la corriente (alterna) de salida del inversor hasta los dispositivos de protección, y de estos a la interconexión con la red de la compañía. Se

considerará un conductor de cobre a una temperatura nominal de 75°C con aislamiento tipo THW (los más comerciales).

Tabla 36 Selección del calibre del conductor según la NOM y la corriente del arreglo

Paneles fotovoltaicos	Corriente máxima del arreglo	Conductor seleccionado según la NOM	Área del conductor (mm ²)
IUSA PV-01-250	8.17 A	14 AWG	2.08
IUSA PV-05-305	9.16 A	14 AWG	2.08
EGE-270-W	8.59 A	14 AWG	2.08
IQ 270w2	8.74 A	14 AWG	2.08
RCM-P672-330T	8.61 A	14 AWG	2.08

Para poder calcular la caída de tensión de la instalación, se debe considerar:

- La longitud total del punto de generación, hasta la carga (en este caso son dos partes, la de directa que es desde los paneles hasta el inversor, y la de alterna que es del inversor hasta el medidor bidireccional), multiplicándolo por dos, ya que se toma en cuenta tanto la fase y el neutro (positivo y negativo)
- La corriente que fluye por el circuito (si se desconoce, se debe calcular a partir de la potencia nominal de la instalación y del voltaje generado), en este caso, se conoce.
- La medida transversal del conductor que se va a usar.
- La resistividad del material conductor (para el cobre es de 1/56 Ωmm²/m), su fórmula es:

$$R = \frac{\rho(L)}{S}$$

Donde:

- R es la resistencia del conductor (Ω)
- L es la longitud del conductor (m)
- S es el tamaño de la sección del conductor elegido previamente (mm²)
- ρ es la resistividad del conductor (Ωmm²/m)

Como se tiene un solo calibre para todos los arreglos, se usa la sección transversal de este que es de 2.08 mm².

La longitud es la misma para cada arreglo propuesta, ya que será desde los extremos de la conexión de los paneles al mismo lugar donde este el inversor, y de este, sea el que sea, al medidor bidireccional que se ubicará en el mismo lugar.

Por lo que se tiene en la parte de directa (de los paneles al inversor):



$$R = \frac{1 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} (20 \text{ m})}{2.08 \text{ mm}^2} = 0.17 \Omega$$

Y en la parte alterna (del inversor al medidor):

$$R = \frac{1 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} (20 \text{ m})}{2.08 \text{ mm}^2} = 0.17 \Omega$$

Obteniendo la resistencia del conductor, se puede usar la fórmula para la caída de tensión de la instalación:

$$\Delta V = IR_C$$

Donde:

- ΔV es la caída de tensión de la instalación de un punto A al B (V).
- R_C es la resistencia del conductor (Ω).
- I es la intensidad de corriente (A)

Por lo que, como se tiene corrientes diferentes en cada arreglo, se usa la fórmula en cada uno para obtener la caída de tensión correspondiente.

Tabla 37 Cálculo de caída de tensión para cada arreglo fotovoltaico

Paneles fotovoltaicos	Corriente del arreglo	Resistividad del conductor	Caída de tensión
IUSA PV-01-250	8.17 A	0.17 Ω	1.388 V
IUSA PV-05-305	9.16 A	0.17 Ω	1.557 V
EGE-270-W	8.59 A	0.17 Ω	1.56 V
IQ 270w2	8.74 A	0.17 Ω	1.485 V
RCM-P672-330T	8.61 A	0.17 Ω	1.463 V

Según la NOM-001-SEDE-2012, la máxima caída de tensión admisible es del 3%, por lo que, de 127 V nominales de la red de CFE, solo está permitido una caída del 3.81 V. En los calculo realizados anteriormente se puede apreciar que la caída de tensión del inversor a la interconexión con la red no sobrepasa los 2 V, por lo que está debajo de la máxima admisible según la NOM.

ÁREA DE INSTALACIÓN

Prácticamente, cada kW ocupa de 8 a 10 m², pero para ser un poco más precisos en el cálculo del área que requerirán los paneles fotovoltaicos se considera el ángulo que forma el sol respecto al cenit en invierno (ángulo máximo), las dimensiones del panel, el ángulo de instalación y la altura que tendrá este una vez puesto en su soporte.

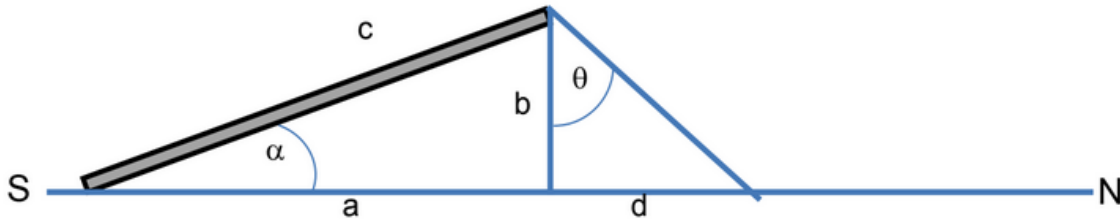


Ilustración 52 Representación de la instalación de los paneles fotovoltaicos en vista de perfil y su proyección de sombra.

Donde:

- C es el largo del panel.
- α es el ángulo de inclinación (en México es de 20°)

A través de geometría básica, podemos saber:

$$a = (c)(\cos\alpha)$$

$$b = (c)(\sen\alpha)$$

En vista de que $\alpha = 20^\circ$ y el ángulo que forma la parte superior del panel respecto al suelo es de 90° , se deduce que el ángulo entre c y b es de 70° . Se puede encontrar las medidas de "a" y "b", teniendo como referencia $c = 1.65$ m en promedio de los paneles seleccionados anteriormente:

$$a = (1.65m)(\cos 20) = 1.55m$$

$$b = (1.65m)(\sen 20) = 0.564m$$

θ es el mayor ángulo que forma el sol respecto al cenit a 0° de azimut o es el ángulo de la incidencia de los rayos solares en invierno al medio día, el cual es de 47.5° ⁵⁷ (redondeándolo a 50°) según la ubicación geográfica de la ciudad. Una vez conociendo este dato, podemos conocer:

$$d = (b)(\tan\theta)$$

Entonces:

$$d = (0.564m)(\tan 50^\circ) = 0.672 m$$

⁵⁷ Obtenida de la gráfica solar a 20° de latitud.

Redondeándolo nos daría que los paneles generan una sombra de 0.7 m en invierno al medio día, por lo que, “d” es la distancia horizontal mínima hacia el norte a partir de la cual se puede instalar la siguiente fila de módulos.



Ilustración 53 Ejemplo de sombreado de los paneles.

Con la destinación del área requerida de los paneles seleccionados, se añadirá 0.7 m al largo del panel:

Tabla 38 Áreas requeridas para la instalación de los paneles fotovoltaicos propuestos

Tipo de panel	Área total de los paneles (m ²)	Área de instalación incluyendo sombra proyectada (m ²)
IUSA 250 W	19.87	28.21
IUSA 305 W	16.5	23.36
EGE 270 W	17.87	25.5
IQ 270 W	16.53	23.46
Recom 330 W	14.64	20.89

De igual forma, se puede realizar el cálculo para conocer aproximadamente la cantidad de energía que se generará del sistema fotovoltaico al día y al año, con las siguientes fórmulas:

$$E_{G(Día)} = P_{AFV}(HSP)(\eta)$$

$$E_{G(Año)} = E_{G(Día)}(365)$$

Donde:

- $E_{G(Día)}$ es la energía generada al día.
- $E_{G(Año)}$ es la energía generada al año
- P_{AFV} es la potencia del arreglo fotovoltaico.
- HSP son las horas solar pico (5.6 hr)
- η es la eficiencia del arreglo (85%)

Tabla 39 Energía generada aproximadamente por los paneles fotovoltaicos propuestos

Marca de los paneles	Potencia del arreglo	Energía generada al día (kW/Día)	Energía generada al año (kW/Año)
IUSA 250 W	3 kWp	14,280	5'212,200
IUSA 305 W	3.05 kWp	14,518	5'299,070
EGE 270 W	2.97 kWp	14,137.2	5'160,078
IQ 270 W	2.7 kWp	12,852	4'690,980
Recom 330 W	2.97 kWp	14,137.2	5'160,078

CONSIDERACIONES

- El punto de interconexión del sistema fotovoltaico debe conectarse del lado de la carga, preferentemente al interruptor general del servicio del inmueble, según CFE. Con esto, al personal de la compañía se le da un medio manual de desconexión accesible para poder realizar maniobras tanto en la red de distribución, como dentro de la misa vivienda.
- El interruptor a la salida del inversor debe de ser termomagnético para permitir la desconexión del sistema fotovoltaico de la red y la carga. Al igual que el interruptor de servicio de la acometida eléctrica debe ser accesible para el personal de CFE.
- La calibración del dispositivo de sobrecorriente se determina en función de la potencia máxima de salida del inversor.
- La CFE verificará periódicamente la calidad de la energía eléctrica en la acometida del inmueble para corroborar que los límites de operación de la red indicados en ésta especificación no se vean superados. En el caso de identificar desviaciones en la calidad de la energía, la CFE determinará su origen y tomará medidas correctivas que procedan. Igualmente, el propietario de la instalación solar debe de verificar constantemente las desviaciones originadas por el sistema dentro de los límites establecidos.
- Para poner en operación la instalación, se debe desconectar el circuito al que se va a conectar el inversor, comprobar el voltaje en vacío de los paneles y conectarlo al inversor garantizando un contacto eléctrico en las terminales de entrada. Una vez comprobado los valores de entrada y salida, se puede conectar el circuito a la red con normalidad.

PRESUPUESTO

Con todos los datos proporcionados, se puede realizar diversas cotizaciones independientes a las empresas que se dedican a la instalación de sistemas fotovoltaicos, con lo cual, se puede tener una amplia gama de opciones para poder elegir la más conveniente, la más económica o la más fiable, pero esto último depende mucho de la marca y la garantía que den los fabricantes de sus dispositivos.



Las propuestas sería las siguientes:

Tabla 40 Propuesta 1 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 3 kWp

Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Panel fotovoltaico IUSA 250 W	12	\$3,215.00	\$38,580.00
Inversor Solis 3kW	1	\$20,200.00	\$20,200.00
Supresor de picos DC Suntime 2 polos 500 V	1	\$633.00	\$633.00
Termomagnética ABB DC de riel 2 polos 16 A	1	\$1000.00	\$1,000.00
Centro de carga de riel 4 módulos Bticino Ip65 F107n4d	2	\$300.00	\$600.00
Termomagnética ABB AC de riel 1 polo 20 A	2	\$85.00	\$170.00
Interruptor diferencial Schenider AC de riel 2 polos 20 A - 30 mA	1	\$500	\$500
Interruptor de cuchillas 2x30 A sin fusible Square D DU221RB	1	\$1808.00	\$1,808.00
Caja de 100 metros de cable Condumex 14 AWG negro, rojo y verde	3	\$650.00	\$1,950.00
Tubería conduit pared gruesa ½" 3 m	7	\$115.00	\$805.00
Total			\$66,246.00

Tabla 41 Propuesta 2 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 3.05 kWp

Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Panel fotovoltaico IUSA 305 W	10	\$4,611.00	\$46,110.00
Inversor Connera 4 kW	1	\$34,501.24	\$34,501.24
Supresor de picos DC Suntime 2 polos 500 V	1	\$633.00	\$633.00
Termomagnética ABB DC de riel 2 polos 16 A	1	\$1000.00	\$1,000.00
Centro de carga de riel 4 módulos Bticino Ip65 F107n4d	2	\$300.00	\$600.00
Termomagnética ABB AC de riel 1 polo 20 A	2	\$85.00	\$170.00
Interruptor diferencial Schenider AC de riel 2 polos 20 A - 30 mA	1	\$500	\$500
Interruptor de cuchillas 2x30 A sin fusible Square D DU221RB	1	\$1808.00	\$1,808.00

Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Caja de 100 metros de cable Condumex 14 AWG negro, rojo y verde	3	\$650.00	\$1,950.00
Tubería conduit pared gruesa ½" 3 m	7	\$115.00	\$805.00
Total			\$88,077.24

Tabla 42 Propuesta 3 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 2.97 kWp

Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Panel fotovoltaico EGE 270 W	11	\$3,549.00	\$39,039.00
Inversor Goodwe 3 kW	1	\$18,807.95	\$18,807.95
Supresor de picos DC Suntime 2 polos 500 V	1	\$633.00	\$633.00
Termomagnética ABB DC de riel 2 polos 16 A	1	\$1000.00	\$1,000.00
Centro de carga de riel 4 módulos Bticino Ip65 F107n4d	2	\$300.00	\$600.00
Termomagnética ABB AC de riel 1 polo 15 A	2	\$85.00	\$1,70.00
Interruptor diferencial Schenider AC de riel 2 polos 15 A - 30 mA	1	\$500	\$500
Interruptor de cuchillas 2x30 A sin fusible Square D DU221RB	1	\$1808.00	\$1,808.00
Caja de 100 metros de cable Condumex 14 AWG negro, rojo y verde	3	\$650.00	\$1,950.00
Tubería conduit pared gruesa ½" 3 m	7	\$115.00	\$805.00
Total			\$65,312.95

Tabla 43 Propuesta 4 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 2.7 kWp

Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Panel fotovoltaico IQ Energía Solar 270 W	5 pares	\$8,790.00	\$47,200.00
Inversor Solis 3 kW	1	\$20,200.00	\$20,200.00
Supresor de picos DC Suntime 2 polos 500 V	1	\$633.00	\$633.00
Termomagnética ABB DC de riel 2 polos 16 A	1	\$1000.00	\$1,000.00



Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Centro de carga de riel 4 módulos Bticino Ip65 F107n4d	2	\$300.00	\$600.00
Termomagnética ABB AC de riel 1 polo 20 A	2	\$85.00	\$170.00
Interruptor diferencial Schenider AC de riel 2 polos 20 A - 30 mA	1	\$500	\$500
Interruptor de cuchillas 2x30 A sin fusible Square D DU221RB	1	\$1808.00	\$1,808.00
Caja de 100 metros de cable Condumex 14 AWG negro, rojo y verde	3	\$650.00	\$1,950.00
Tubería conduit pared gruesa ½" 3 m	7	\$115.00	\$805.00
Total			\$74,866.00

Tabla 44 Propuesta 5 de presupuesto para un sistema fotovoltaico de 2.97 kWp

Concepto	Cantidad	Precio unitario (MXN)	Precio total (MXN)
Panel fotovoltaico Recorn 330 W	9	\$4,299.00	\$38,691.00
Inversor Goodwe 3 kW	1	\$18,807.95	\$18,807.95
Supresor de picos DC Suntree 2 polos 500 V	1	\$633.00	\$633.00
Termomagnética ABB DC de riel 2 polos 16 A	1	\$1000.00	\$1,000.00
Centro de carga de riel 4 módulos Bticino Ip65 F107n4d	2	\$300.00	\$600.00
Termomagnética ABB AC de riel 1 polo 15 A	2	\$85.00	\$170.00
Interruptor diferencial Schenider AC de riel 2 polos 15 A - 30 mA	1	\$500	\$500
Interruptor de cuchillas 2x30 A sin fusible Square D DU221RB	1	\$1808.00	\$1,808.00
Caja de 100 metros de cable Condumex 14 AWG negro, rojo y verde	3	\$650.00	\$1,950.00
Tubería conduit pared gruesa ½" 3 m	7	\$115.00	\$805.00
Total			\$64,964.95

Es preferible que, en cada presupuesto, se considere un 20% extra por cualquier material que vaya a faltar durante la instalación, por lo que, los presupuestos quedarían:

Tabla 45 Presupuestos con el 20% adicional

Concepto	Precio estimado (MXN)	Precio + 20% (MXN)
Sistema de 3 kWp	\$66,246.00	\$79,495.20
Sistema de 3.05 kWp	\$88,077.24	\$105,692.68
Sistema de 2.97 kWp	\$65,312.95	\$78,375.54
Sistema de 2.7 kWp	\$74,866.00	\$89,839.20
Sistema de 2.97 kWp	\$64,964.95	\$77,957.94

TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Para el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión se considera el precio anual estimado de pago de luz según el historial de consumo del recibo (Tabla 16), el cual fue de \$26,887.73 MXN. Dividiendo este precio anual estimado entre los precios de las propuestas se tiene el siguiente resultado:

Tabla 46 Tiempo de recuperación de los sistemas propuestos

Sistema	Potencia	Precio estimado	Tiempo de recuperación aproximado
1	3 kWp	\$66,246.00 MXN	2.5 años
2	3.05 kWp	\$88,077.24 MXN	3.5 años
3	2.97 kWp	\$64,312.95 MXN	2.5 años
4	2.7 kWp	\$74,866.00 MXN	3 años
5	2.97 kWp	\$64,964.95 MXN	2.5 años

Esta amortización es sin considerar el 20% adicional que pueda llegar a requerirse por cualquier situación.

Se debe considerar que la disminución del precio del recibo no será notorio una vez instalado el sistema, tendrá un tiempo en el cual el medidor vaya marcando la cantidad de energía inyectada a la red para poder reflejar la disminución en el pago, el cual puede ser de 3 a 4 bimestres. Al igual que el precio de la tarifa DAC y del kW dependerá del mercado de energía eléctrica, por lo que puede que la amortización varíe unos meses si es que llegan a aumentar

CONCLUSIONES

La generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red de CFE es cada vez más rentable y fiable en México con el paso del tiempo beneficiando a usuarios con tarifa doméstica de alto consumo como se pudo demostrar el presente trabajo de tesis, el cual tuvo como objetivo proponer una instalación viable para una casa hogar tanto cotizada por empresas dedicadas a este servicio como una propuesta independiente aplicando los conocimientos de ingeniería eléctrica para dicha tarea.

Se trabajó con una casa habitación localizada en la zona centro del país, ubicada en la colonia Providencia de la delegación Gustavo A. Madero, con coordenadas geográficas 19° 29' 01" N y 99° 04' 16.4" O, la cual tiene un consumo promedio aproximado de 832.166 kWh/bimestre, según su historial de consumo del recibo de luz teniendo, por consecuencia, la tarifa más alta de CFE que es la DAC y en promedio paga más de \$4,000 MXN bimestrales por el servicio de energía. Dado estos datos, se optó por proponer la puesta de una instalación fotovoltaica interconectada a la red de CFE para poder disminuir el pago realizado a dicha empresa significativamente. Según su posición geográfica y el consumo que tiene el inmueble se pudo calcular por el método Watt - hora que se requiere de un sistema teórico de 3.044 kW para poder cubrir la demanda de consumo.

Al investigar la cotización con empresas, a la par, se pudo observar los equipos que son más usados por ellos para así tener idea con que dispositivos se trabajan y de que marcas comercialmente. Se puede hacer un resumen de lo que ofrecen las empresas resaltando aspectos importantes como el precio, el tiempo de recuperación y la cantidad de energía que proporcionarán:

- **Industronic:**
 - 9 paneles QCell de 330 W.
 - Inversor central Solar Energy.
 - Precio: \$6,545.88 USD más envío (5 a 9 días)
 - 50% de anticipo + 50% contra aviso de embarque.
 - Las pruebas de sitio son de 2 a 3 días hábiles después de la instalación, así como su mantenimiento.
 - Tiempo de recuperación: 4 años y medio aproximadamente.
 - Ahorra respecto al sistema teórico: 97.56%
- **Piensa Verde:**
 - 10 paneles Solarever de 360 W.
 - Inversor central Solis.
 - Precio: \$85,000 MXN
 - 60% de anticipo + 40% al finalizar la instalación.
 - Tiempo de recuperación: 4 años aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 118.26%
- **C - Verde:**
 - 10 paneles Eco Green Energy de 320 W.
 - 10 microinversores NEP.
 - Precio: \$6,260 USD



- 75% de anticipo + 25% al finalizar instalación.
- Tiempo de recuperación: 4 años y medio aproximadamente.
- Ahorro respecto al sistema teórico: 105.12%
- **eTesla:**
 - 8 paneles policristalinos Canadian Solar de 350 W.
 - Inversor central ABB.
 - Precio: \$4,497 USD
 - 50% de anticipo + 35% antes del embarque y 15% al finalizar la instalación.
 - Tiempo de recuperación: 4 años aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 91.98%
- **SolNova:**
 - 9 paneles Canadian Solar de 350 W.
 - 9 microinversores Enphase.
 - Precio: \$6,942.70 USD
 - 65% de anticipo + 20% a la entrega del material + 15% al finalizar la instalación.
 - Tiempo de recuperación: 5 años aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 103.48%
- **IEM Solar:**
 - 8 paneles Trinasol de 330W.
 - 8 microinversores Enphase.
 - Precio: \$5,916 USD
 - 50% de anticipo + 40% contra embarque + 10% a la entrega del contrato de CFE.
 - Tiempo de recuperación: 4 años y medio aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 86.72%

Para poder escoger una instalación de las antes mencionadas, se basó, en primera instancia, por el precio del sistema. Las más económicas serían las instalaciones de Piensa Verde (\$85,000 MXN) y eTesla (\$4,497 USD), las más costosa son la de SolNova (\$6,942.70 USD) e Industronic (\$6,545.88 USD)

Las que tienen un menor tiempo de recuperación son las de Piensa Verde y eTesla con 4 años aproximadamente ambas, la de mayor tiempo de recuperación es SolNova con 5 años.

Finalmente, la cantidad de energía respecto al sistema teórico que se calculó, las que mayor cantidad proporcionarían son las instalaciones de Piensa verde (118.26%), C-Verde (105.12%) y SolNova (103.48%), teniendo las de eTesla (91.98%) e IEM Solar (86.72%) como las que menor energía generarían. Esto influye en poder tener un rango mayor de carga en la vivienda y no tener que realizar pagos extras a CFE por el exceso de energía consumida.

Dado estos resultados se optaría por la empresa Piensa Verde como opción para la instalación de sistema fotovoltaico por la relación precio – generación el cual es bajo a comparación de otras empresas, los dispositivos que maneja son de alta fiabilidad, proporcionar mayores datos sobre su instalación y cotización, aparte de otorgar oportunidad

de crecimiento de consumo y sus oficinas encontrarse relativamente cercanas a la ubicación de la vivienda, dentro de la misma área metropolitana.

Por otro lado, también se realizó una propuesta de una instalación de forma independiente si es que se desea realizar por cuenta propia y ser usada como ejemplo por si se requiere aplicar en otras residencias.

Durante el desarrollo del Capítulo 5 se estimó cinco posibles instalaciones que cubren la demanda del domicilio con equipo seleccionado vía internet basándose en equipos fiables y usados por diversas empresas. De igual forma, se puede realizar el desglose de los principales puntos de dichas instalaciones:

- **Sistema 1 (3 kWp)**
 - 12 paneles IUSA 250 W.
 - Inversor central Solis.
 - Precio: \$66,246 MXN.
 - Tiempo de recuperación: 2 años y medio aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 98.55%
- **Sistema 2 (3.05 kWp)**
 - 10 paneles IUSA 305 W.
 - Inversor central Connera.
 - Precio: \$88,077.24 MXN.
 - Tiempo de recuperación: 3 años y medio aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 100.19%
- **Sistema 3 (2.97 kWp)**
 - 11 paneles EGE de 270 W.
 - Inversor central Goodwe
 - Precio: \$65,312.95 MXN
 - Tiempo de recuperación: 2 años y medio aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 97.56%
- **Sistema 4 (2.7 kWp)**
 - 10 paneles IQ Energía Solar de 270 W.
 - Inversor central Solis.
 - Precio: \$74,866 MXN
 - Tiempo de recuperación: 3 años aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 88.69%
- **Sistema 5 (2.97 kWp):**
 - 9 paneles Recorn de 330 W.
 - Inversor central Goodwe.
 - Precio: \$64,964.95 MXN
 - Tiempo de recuperación: 2 años y medio aproximadamente.
 - Ahorro respecto al sistema teórico: 97.56%

Para la selección de un sistema independiente, en primera instancia se considera el precio, el cual tiene importancia en el tiempo de recuperación, siendo el Sistema 5 (\$64,964.95 MXN)



y el Sistema 3 (\$65,312.95 MXN) los más económicos, el Sistema 2 (\$88,077.24) es el más costoso.

Respecto a la cantidad de ahorro, el sistema 2 (100.19%) y el sistema 1 (98.55%) son los que mayor cantidad generarían. El sistema 4 (88.69%) es el de menor ahorro, teniendo un precio elevando respecto a la relación precio – generación.

Finalmente, se selecciona el Sistema 2 por su cantidad de ahorro más que por el precio, ya que al igual que pasa con la instalación de Piensa Verde, proporciona un rango de crecimiento o de sobreconsumo de carga en la residencia, haciendo que, si en cualquier situación se llegará a elevar la carga más del promedio diario, este sistema tendría mayor capacidad para amortiguar el consumo y evitar que se llegará a cobrar significativamente en los próximos recibos de luz.

Solamente hay que considerar algunas situaciones antes de poder dar por terminada esta elección:

- Dentro de las cotizaciones se puede optar por elegir microinversores en vez de un inversor central, puesto que estos primeros ayudan al crecimiento de la instalación si se llegará a necesitar, dado que los inversores centrales limitan la capacidad del sistema.
- Revisar que en la casa habitación exista un sistema de tierras para poder aterrizar los equipos apropiadamente. En caso contrario se recomienda realizar el sistema de tierras antes de la instalación.
- Se debe considerar el área total de instalación que ocuparan los paneles en la azotea de la residencia ya que se necesita de una superficie despejada.
- El precio del recibo de luz de CFE no disminuirá inmediatamente durante el primer bimestre, sino que lo ira haciendo conforme se vaya proporcionando la energía a la red hasta llegar a un punto en donde el medidor marque un consumo regular o bajo, en ese entonces será cuando el precio del recibo se vea reflejado.
- El precio del kWh varía según el mercado de energía eléctrica, por lo que la amortización del sistema pueda variar su tiempo.
- A los sistemas fotovoltaicos se les debe de dar un mantenimiento por estar en la intemperie para que su funcionamiento sea óptimo tanto preventivo como correctivo.
- Después de cierto periodo de tiempo (el cual puede ser de 20 años según la garantía) la eficiencia del sistema puede decaer, por lo tanto, se tendría que hacer una inversión menor a la inicial en cierto tiempo o cuando llegue a fallar cualquier equipo fuera de garantía.
- Si se opta por la instalación independiente, el propietario de la residencia tiene que realizar los trámites necesarios en CFE, incluyendo el pago.
- Una ventaja y desventaja sería que en un lapso mediano de tiempo de este tipo de instalaciones pueden llegar a cotizarse en menor precio al de este trabajo, ya que conforme avanza la tecnología se vuelve más accesible y más económica.

Este trabajo se puede ajustar a cualquier casa habitación con un consumo de energía eléctrica elevado y adaptarlo a las necesidades de cualquiera siguiendo los mismos pasos y

darse una idea de cuál sería la inversión de una instalación de este tipo, las ventajas y desventajas.

Por último, como un trabajo aplicado de ingeniería, es gratificante saber que se puede apoyar el impulso de las energías limpias en México, un país en el cual no se le da mucho apoyo, haciendo un cambio en pequeña escala y apoyando tanto el crecimiento de tecnologías limpias, como a la preservación y mejoramiento del medio ambiente.



FUENTES CONSULTADAS

- [1] A. Madrid, Energías renovables, Fundamentos, tecnologías y aplicaciones., Madrid: Mundi-Prensa, 2009.
- [2] G. E. Harper, Sistemas de transmisión y distribución de potencia eléctrica, México: Limusa, 2016.
- [3] PRODESEN, «Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional,» SENER, Mexico, 2016.
- [4] «SectorElectricidad,» 1 09 2013. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/5612/tipos-de-estructuras-para-alta-media-y-baja-tension/>. [Último acceso: 13 08 2018].
- [5] F. Staff, «Forbes,» 9 02 2016. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com.mx/los-estados-con-mayor-potencial-en-energia-eolica/>. [Último acceso: 10 08 2018].
- [6] «Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica,» [En línea]. Available: <http://www.cemiegeo.org/index.php/geotermia-en-mexico>. [Último acceso: 15 08 2018].
- [7] «Durango Oficial,» 14 09 2017. [En línea]. Available: <http://durango.com.mx/cfe-construye-17-huertos-solares-en-el-estado/>.
- [8] «Componentes de una instalación solar fotovoltaica,» 13 09 2017. [En línea]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>. [Último acceso: 13 08 2018].
- [9] «Silicon Solar,» [En línea]. Available: <http://www.siliconsolar.com/what-are-standard-test-conditions-stc/>. [Último acceso: 9 10 2017].
- [10] T. P. Benito, Guía del instalador de energías renovables, México: Noriega Editores, 2006.
- [11] T. P. Benito, Cómo montar tu propia instalación de energía solar para obtener electricidad, España: Creaciones, 2009.
- [12] «Área Tecnología,» [En línea]. Available: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>. [Último acceso: 13 08 2018].
- [13] «Antusol,» [En línea]. Available: <https://antusol.webcindario.com/instalacion.html>. [Último acceso: 13 08 2018].

- [14] SENER, Prospectiva de Energías Renovables 2012 - 2016, Mexico: Gobierno Federal, 2011.
- [15] «El efecto fotoeléctrico,» 13 09 2017. [En línea]. Available: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>.
- [16] «EXELSOLAR,» 14 09 2017. [En línea]. Available: <http://www.exelsolar.com/Contenido/TiposAplicacionesEnergiaSolarFotovoltaica>.
- [17] I. A. C. Lugo, «Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para uso residencial,» IEM, México.
- [18] J. R. Vázquez, Instalaciones de baja tensión: Cálculo de líneas eléctricas, Barcelona: CEAC, 1990.
- [19] EXELSOLAR, «Catálogo 2017,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.exelsolar.com.mx/Descargas/Catalogo-Exel-Solar.pdf>. [Último acceso: 25 09 2017].
- [20] L. J. Banyeres, Generación de energía solar fotovoltaica, España: Marcombo, 2012.
- [21] J. A. D. Gómez, Energías alternativas, Madrid: Equipo Sirius, 2008.
- [22] T. P. Benito, Instalación de paneles solares térmicos, España: Creaciones, 2009.
- [23] «MppSolar,» [En línea]. Available: <http://www.mpptsolar.com/es/como-elegir-regulador-de-carga-solar.html>. [Último acceso: 9 10 2017].
- [24] C. M. Figueredo, «CUBASOLAR,» [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/articulo03.htm>. [Último acceso: 23 01 2018].
- [25] R. B. y. Brown, 12 06 2014. [En línea]. Available: <http://slideplayer.es/slide/1721556/>. [Último acceso: 24 01 2018].
- [26] «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/L%C3%ADnea_de_transmisi%C3%B3n. [Último acceso: 18 Abril 2018].
- [27] E. S. d. Aparicio, «Constructor Electrico,» 7 03 2017. [En línea]. Available: <https://constructorelectrico.com/vientos-de-progreso-la-energia-eolica-en-mexico/>. [Último acceso: 10 08 2018].
- [28] «Energía Solar,» 1 01 2018. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-geotermica/generacion-electricidad>. [Último acceso: 15 08 2018].



- [29] T. Fernandez, «VIX,» [En línea]. Available: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2011/01/28/energia-geotermica-ventajas-y-desventajas>. [Último acceso: 15 08 2018].
- [30] M. Á. Abella, «Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos,» CIEMAT, Madrid.
- [31] J. D. V. González, Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica, México: UNAM, 2013.
- [32] «Webosolar,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.webosolar.com/foro/interconexion-solar-medidor-bidireccional-cfe/>. [Último acceso: 28 08 2018].
- [33] L. E. D. Laguna, Beneficios ambientales, sociales y tecnológicos, por la implementación de sistemas de abastecimiento energéticos, mediante el empleo de energías renovables, México: UNAM, 2012.
- [34] PROFECO, «Dudas frecuentes sobre CFE,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.profeco.gob.mx/cfe.asp>. [Último acceso: 03 09 2018].
- [35] S. d. Gobernacion, «NOM 001 SEDE 2018,» SEGOB, México, 2018.
- [36] F. G. S. Dingler, Sistemas fotovoltaicos. Bombeo, iluminación e interconectados a la red, ANES, 2012.
- [37] CEMAER, «CEMAER,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>. [Último acceso: 26 09 2018].
- [38] «Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica,» [En línea]. Available: https://www2.ineel.mx/proyectorfotovoltaico/pdf/7_INGENIERIA_DEL_SISTEMA.pdf. [Último acceso: 26 09 2018].
- [39] C. F. d. Electricidad, «Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW,» CFE, Mexico, 2008.
- [40] «Expansión,» 16 03 2018. [En línea]. Available: <https://expansion.mx/empresas/2018/03/15/asi-se-construyo-el-mayor-parque-solar-de-america-en-coahuila>. [Último acceso: 22 10 2018].
- [41] «CCEEA,» 2018. [En línea]. Available: <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/aura-solar-el-gran-proyecto-que-ahora-esta-abandonado>. [Último acceso: 22 10 2018].

- [42] F. Celis, «Forbes,» 1 02 2018. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com.mx/bimbo-usara-techos-solares-en-mexico/>. [Último acceso: 22 10 2018].
- [43] C. Hidalgo, «Milenio,» 08 01 2018. [En línea]. Available: <http://www.milenio.com/estados/cerrillo-uaem-funcionara-energia-solar-gonzalez>. [Último acceso: 22 10 2018].
- [44] CONACYT, «UNAM Global,» [En línea]. Available: <http://www.unamglobal.unam.mx/?p=43164>. [Último acceso: 23 10 2018].
- [45] «ineel,» [En línea]. Available: https://www2.ineel.mx/proyectofotovoltaico/pdf/5_PROTECCION_Y_SEGURIDAD.pdf. [Último acceso: 18 02 2019].
- [46] I. Ingeniería, «UJAEN,» [En línea]. Available: http://www.ujaen.es/investiga/solar/documentacion_pv_in_bloom/Seminarios%20PV%20in%20Bloom.%20Diseno%20de%20SFCR.pdf. [Último acceso: 19 02 2019].
- [47] «Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica, Protección y seguridad,» [En línea]. Available: https://www2.ineel.mx/proyectofotovoltaico/pdf/5_PROTECCION_Y_SEGURIDAD.pdf. [Último acceso: 18 02 2019].
- [48] CONERMEX, 03 2015. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/12270367-Manual-practico-de-instalacion-de-sfv-interconectados-a-la-red-de-pequena-escala-contenido.html>. [Último acceso: 19 02 2019].
- [49] N. M. Zerrouk, Parcela fotovoltaica de 1,1 MW conectada a red en Ounagha, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2011.
- [50] Latincasa, «Latincasa,» [En línea]. Available: <http://www.latincasa.com.mx/SiteCollectionDocuments/seleccion-de-calibre-en-cables-para-construccion.pdf>. [Último acceso: 20 05 2019].

ANEXO 1: ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.

% - Por ciento.	E_R – Energía requerida.
\pm - Más menos.	f_e – Frecuencia eléctrica.
$^{\circ}\text{C}$ – Grados centígrados.	FF – Factor de forma.
μV – Micro Volt.	GW – Gigawatt.
A – Amperes.	GWh – Gigawatt hora.
A – Área.	h – Constante de Planck.
ACSR – Cable de aluminio desnudo con alma de acero	HP – Horse Power (Caballos de fuerza)
AEM – Atlas Eólico de México.	HSP – Hora Solar Pico.
Ah – Ampere hora.	Hz – Hertz.
C – Capacitancia.	I – Intensidad de corriente eléctrica.
c – Constante de la velocidad de la luz.	IEC – International Electrotechnical Commission
CA – Corriente alterna.	IIE – Institute of International Education
C_B – Capacidad de la batería.	I_L – Corriente de iluminación.
C_{BB} – Capacidad del banco de baterías.	I_M – Corriente máxima.
CC – Corriente continua.	I_{MP} – Corriente a máxima potencia del módulo fotovoltaico.
CDMX – Ciudad de México.	I_S – Corriente del sistema.
CFE – Comisión Federal de Electricidad.	I_{sc} – Corriente de corto circuito.
cm – Centímetros.	ISF – Instalación Solar Fotovoltaica.
CO_2 – Dióxido de carbono.	IVA – Impuesto sobre el Valor Agregado.
D_A – Días de autonomía.	K – Kelvin.
DAC – De Alto Consumo.	kg – Kilogramo.
DAP – Derecho al Alumbrado Público.	kHz – Kilo Hertz.
dB – Decibeles.	kJ – Kilo joule.
DOD – Depth of discharge.	km – Kilómetros.
E_G – Anchura de la banda prohibida.	km/hr – Kilómetros por hora.
e_{ind} – Voltaje inducido.	kV – Kilovolt.



kW – Kilowatt.	P_D – Profundidad de descarga.
kWh – Kilowatt hora.	P_{FV} – Potencia del módulo o panel fotovoltaico.
kWh/m^2 – Kilowatt hora por metro cuadrado.	P_{hsp} – Potencia por día.
$kWh/m^2/día$ – Kilowatt hora por metro cuadrado por día.	PLC – Power Line Carries.
kWp – Kilowatt pico.	PLC – Programmable Logic Controlers.
L – Longitud.	P_M – Potencia máxima.
m – Metro.	PRODESEN – Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional.
m/s – Metro por segundo.	PROFECO – Procuraduría Federal del Consumidor.
m^2 – Metro cuadrado.	R – Resistencia eléctrica.
mA – Mili amperes.	Rayos UV – Rayos Ultravioleta.
mdd – Millones de dólares.	RPM – Revoluciones Por Minuto.
MFV – Módulo o panel Fotovoltaico.	RTU – Remote Terminal Unit.
MFV – Módulo o panel fotovoltaico.	S – Sección transversal del cable.
mg – Miligramo.	s. – Siglo.
MW – Megawatt.	SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
MWh – Megawatt hora.	SENER – Secretaría de Energía.
MXN – Moneda nacional (Peso)	SEP – Sistema Eléctrico de Potencia.
MXN/kWh – Moneda nacional (Peso) por kilowatt hora.	SHCP – Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
N – Número de espiras.	SOC – State of charge.
N_{BS} – Número de baterías en serie.	t – Tiempo.
n_m – Velocidad mecánica.	TC – Transformador de corriente.
N_{NP} – Número de baterías en paralelo.	TP – Transformador de potencia.
P – Número de par de polos.	TWh – Tera watt hora.
P – Potencia.	U – Rearme alto.
P_{AFV} – Potencia del arreglo fotovoltaico.	U_{FLOT} – Corte de flotación.
P_{CAP} – Potencia de captación.	
PD – Profundidad de descarga.	



U_{MAX} – Corte alto.

V – Voltaje.

V – Volts.

V_B – Voltaje de la batería.

V_{CC} – Voltaje de corriente continua.

V_M – Voltaje máximo.

V_{MP} – Voltaje a máxima potencia del módulo o panel fotovoltaico.

V_{OC} – Tensión de circuito abierto.

VRLA – Valve Regulated Lead Acid.

V_S – Voltaje del sistema.

VSAT – Very Small Aperture Terminal (Terminal de apertura muy pequeña)

W – Watts.

W/m^2 – Watt por metro cuadrado.

Wh – Watt hora

Wp – Watts pico.

Z_0 – Impedancia.

ΔV – Caída de tensión.

η – Eficiencia.

λ - Longitud de onda.

ρ – Resistividad.

Φ – Flujo magnético

Ω - Ohms.

Ω/m – Ohm por metro.

ANEXO 2: DIVISIÓN DE REGIONES DE COBRO DE CFE⁵⁸

Región	Municipios
Baja California	Todos los municipios de Baja California . Municipios de Sonora : San Luis Río Colorado.
Baja California Sur	Todos los municipios de Baja California Sur .
Noroeste	Todos los municipios de Sonora , excepto el comprendido en la región Baja California . Todos los municipios de Sinaloa .
Norte	Todos los municipios de Chihuahua y Durango . Municipios de Zacatecas : Chalchihuites, Jiménez del Teúl, Sombrerete, Sain Alto, Jerez, Juan Aldama, Río Grande, General Francisco Murguía, Mazapil, Melchor Ocampo. Municipios de Coahuila : Torreón, San Pedro de Las Colonias, Matamoros, Viesca, Parras de La Fuente, Francisco I. Madero, Ocampo y Sierra Mojada.
Noreste	Todos los municipios de Nuevo León y Tamaulipas . Todos los municipios de Coahuila , excepto los comprendidos en la región Norte. Municipios de Zacatecas : Concepción del Oro y El Salvador. Municipios de San Luis Potosí : Vanegas, Cedral, Cerritos, Guadalcázar, Ciudad Fernández, Rioverde, San Ciró de Acosta, Lagunillas, Santa Catarina, Rayón, Cárdenas, Alaquines, Ciudad del Maíz, Ciudad Valles, Tamazopo, Aquismón, Axtla de Terrazas, Tamazunchale, Huehuetlán, Tamuín, Tancanhuitz, Tanlajas, San Antonio, Coxcatlán, Tampamolón, San Vicente Tancuayalab, Ébano, Xilitla, Tampacán, Tanquián de Escobedo. Municipios de Veracruz : Pánuco, Tempoal, Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama de Mazcareñas, El Higo, Huayacocotla.
Central	Todas las delegaciones del Distrito Federal . Municipios del Estado de México : Tultepec, Tultitlán, Ixtapaluca, Chalco de Díaz Covarrubias, Huixquilucan de Degollado, San Mateo Atenco, Toluca, Tepotzotlán, Cuautitlán, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla, Naucalpan de Juárez, Ecatepec, Chimalhuacán, San Vicente Chicoloapan, Texcoco, Ciudad Nezahualcóyotl, Los Reyes La Paz. Municipios de Morelos : Cuernavaca.
Sur	Todos los municipios de Nayarit , Jalisco , Aguascalientes , Colima , Michoacán , Guanajuato , Querétaro , Hidalgo , Guerrero , Tlaxcala , Puebla , Oaxaca , Chiapas , Tabasco . Todos los municipios de Zacatecas , San Luis Potosí y Veracruz no comprendidos en la región Norte y Noreste. Todos los municipios del Estado de México y Morelos no comprendidos en la región Central.
Peninsular	Todos los municipios de Quintana Roo , Campeche y Yucatán .

⁵⁸ Fuente: PROFECO, con datos de CFE.

ANEXO 3: FRAGMENTO DE TABLA DE CONDUCTORES NOM-001-SEDE-2012

Área mm ²	Tamaño o designación AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS W, UF	TIPOS LSOH RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, LSOH, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, HWN- 2, RHH, RHW- 2, USE-2, HH, XHHW, HHW- 2, ZW-2
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
0.824	18**	-	-	14	-	-	-
1.31	16**	-	-	18	-	-	-
2.08	14**	15	20	25	-	-	-
3.31	12**	20	25	30	-	-	-
5.26	10**	30	35	40	-	-	-
8.37	8	40	50	55	-	-	-
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480

* Véase 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.

** Véase 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.



ANEXO 4: RECIBO DE LUZ DE LA CASA HABITACIÓN DE ESTUDIO



CFE Suministrador de Servicios Básicos
 Av. Paseo de la Reforma 164,
 Col. Juárez, Del. Cuauhtémoc, C.P. 06603, Ciudad de México.
 RFC: CSS160330C97

CONCEPCION PEREZ GARCIA

TAMAULIPAS 176
 MO RELOS Y TLAXCALA
 PROVIDENCIA. C.P. 07550
 GUSTAVO A MADERO, CDMX

TOTAL A PAGAR:
\$4,078.00

(CUATRO MIL SETENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N.)

NO. DE SERVICIO : 574140400501

NO. DE SERVICIO (RMU): 07550 14-04-03 GDP9-80714 001 CFE

PERIODO FACTURADO: 01 AGO 18 - 01 OCT 18

TARIFA: DAC

NO. MEDIDOR: 567WM9

MULTIPLICADOR: 1

LÍMITE DE PAGO: 20 OCT 2018 **CORTE A PARTIR:**
 21 OCT 2018

Concepto	Lectura actual		Lectura anterior		Total periodo	Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
	Medida	Estimada	Medida	Estimada			
Energía (kWh)	15089		14247		842		

¡Ahora es más fácil!

¡Ya puedes pagar tu recibo de CFE con tarjeta de crédito o débito en nuestros Centros de Atención!

Concepto	Costo de la energía en el mercado				Desglose del importe a pagar	
	\$	\$/W	\$/kWh	Importe (MXN)	Concepto	Importe (MXN)
Suministro	128.36	0.00	0.00	128.36	Cargo Fijo	128.36
Distribución	0.00	0.00	647.50	647.50	Energía	3387.37
Transmisión	0.00	0.00	133.46	133.46	Subtotal	3,515.73
CENACE	0.00	0.00	7.66	7.66	IVA 16%	562.51
Energía	0.00	0.00	1,538.33	1,538.33	Fac. del Periodo	4,078.24
Capacidad	0.00	0.00	1,055.87	1,055.87	Diferencia por redondeo	0.35
SCnMEM	0.00	0.00	4.55	4.55	Total	\$4,078.59
Total	128.36	0.00	3,387.37	3,515.73		

¿En qué podemos ayudarte?



Fecha, hora y lugar de impresión: 12 OCT 2018 11:58:44 hrs. Río De Guadalupe N.54 Col. San Pedro El Chico Gustavo A. Madero Ciudad de México México México CP. 07480

PORTE PAGADO CARTAS CA09-0228



NÚMERO DE SERVICIO (RMU): 07550 14-04-03 GDP9-80714 001 CFE

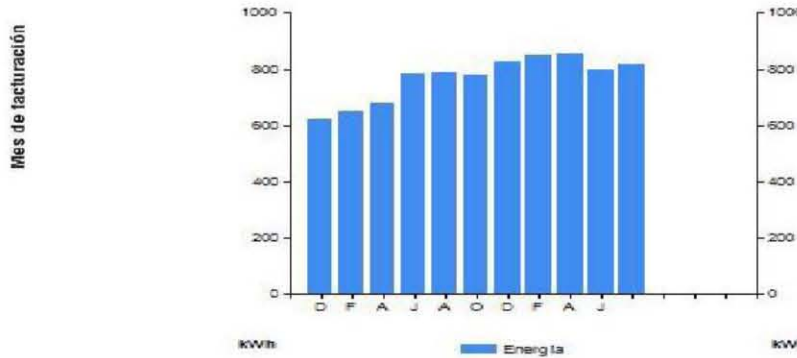


CUENTA: 04DL40C010032920 CLAVE DE ENVÍO: Reparar

TOTAL A PAGAR:
\$4,078.00

(CUATRO MIL SETENTA Y OCHO PESOS 00/100 M.N.)

Consumo histórico kWh



Período	Energía (kWh)
del 01 JUN 18 al 01 AGO 18	819
del 03 ABR 18 al 01 JUN 18	799
del 30 ENE 18 al 03 ABR 18	855
del 29 NOV 17 al 30 ENE 18	851
del 29 SEP 17 al 29 NOV 17	827
del 02 AGO 17 al 29 SEP 17	779
del 01 JUN 17 al 02 AGO 17	791
del 30 MAR 17 al 01 JUN 17	786
del 30 ENE 17 al 30 MAR 17	678
del 30 NOV 16 al 30 ENE 17	653
del 30 SEP 16 al 30 NOV 16	625



¡Conectados contigo y con el planeta!

Te invitamos a cambiar tu recibo por el formato electrónico, solicítalo en www.cfe.mx y el recibo llegará a tu correo electrónico.



Datos Fiscales del Receptor Cadena Original Este documento es una representación impresa de un CFDI Pago en una sola exhibición

GDP9807142F0 TAMALIPAS SERV BOMBA 176 GUSTAVO A MADERO, CDMX Serie: LA Folio: 000128328783 Folio Fiscal: E24E80E9-5FAA-42C5-8645-C9051F44882D N. Certificado del SAT: 0000100000406725481 No. certificado del CSD: 000010000004010245 Fecha y Hora de certificación: 2018-10-03T13:12:48 Unidad de medida: No Activa Método de pago: NA Régimen Fiscal: RÉGIMEN GENERAL DE LEY DE PERSONAS MORALES

ID+wO21qGWbxMjG8Hicuh9Y5+SO2tjWZ6k36vQtImUD0x06L2YKyPKG9Sd9H7VxiAo0BEhHu53+i4UqtdnBouK3UsPk0nYygt6yojW8w9BMdN C;y+YpZCRqEjVeHn+j32v6G0nSip931AFH9K+Sjv9Az0YFwSkQNFiaSjcnYnxhuaxmjsMoRatW4hr+Js0nhs8/mv2cTtUTZPuZ6/m5Vgk0KdtdPp1 +MhwMxQou1eNpCoIwKpxumApwKUZdovGKJsz3ze3BwfmY0TpsmXW5/s8B+wwpZtaFQ7cfcgLLUJgyC+uzj+wExhBBptnT0SA6B0dvhjxGcmD 190 4888BFOk3zQM3R0dLHAX01P9Mww6VvbMGLyXSEmVNmLeaV0/1W+4qjKNA5TKMmVNEIKUk7emy7MraaZEV9qsC7GDAzszT20rVZ-0xUJE 2Dg+uAUTqoBatq3mikzMOZBPhqAzo/mEQCE3nP+CAN9sjgnSjIG5Cngq101Mv76NDYHKHvwE3zCbnKAhHx67H4EGe7mawHm2t5qW8SjFTDF buAsrARleEPuUZ8Ttusglvrv1q4bhUJ5CQaZZsbHPnPU24atFzmYojnA1GzJ66yUw5f2NaupXRW7B8ucZ2y5FutzxkGxqjKvU1vk33CUsGHavMf BqUA==

Instancias y recursos a disposición de los usuarios para atender quejas:



Conoce los servicios de los diferentes suministradores:

<http://usuariocalificado.cre.gob.mx/UsuarioCalificado/ListadoSuministrador>

¡AVISO IMPORTANTE!

Corte a partir de los 21 OCT 2018.
Su consumo de energía eléctrica está dentro del rango exceder. Le invitamos a que se registre en nuestro portal y disfrute de la comodidad de nuestros servicios en línea.



Nuestro compromiso es seguir conectados contigo. **CFE-contigo**

¿En qué podemos ayudarte?   CFEInacio!  @CFE.m.x  @CFE Contigo  cfe.mx

ANEXO 5: HORAS SOLARES PICO EN MÉXICO⁵⁹

Horas de sol pico por día para la República Mexicana

Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*	
			Hor	Inc				Hor	Inc
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10	Nayarit	Tepic	21.51	6.06	6.42
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76	Nuevo León	Monterrey	25.70	5.17	5.43
	Mexicali	32.65	5.96	6.81	Oaxaca	Oaxaca	17.06	4.88	5.01
	Tijuana	32.54	5.96	6.79	Puebla	Puebla	19.06	5.22	5.44
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89	Querétaro	Querétaro	20.61	5.57	5.87
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80	Quintana Roo	Cancún	21.16	6.01	6.32
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16		Chetumal	18.51	5.85	6.09
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00	San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52	Sinaloa	Culiacán	24.82	6.05	6.52
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41		Los Mochis	25.80	6.35	6.84
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86		Mazatlán	23.20	6.04	6.47
	Torreón	25.53	5.96	6.37	Sonora	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30		Hermosillo	29.07	6.22	6.81
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36	Tabasco	Villahermosa	18.00	5.36	5.50
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36	Tamaulipas	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09		Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19
	León	21.11	5.75	6.07		Tampico	22.21	5.05	5.23
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52	Tlaxcala	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43	Veracruz	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17		Orizaba	18.85	4.64	4.76
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24		Veracruz	19.20	4.56	4.66
México	Toluca	19.28	5.77	6.09		Xalapa	19.50	4.71	4.84
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13	Yucatán	Mérida	20.97	5.94	6.23
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07	Zacatecas	Zacatecas	22.77	5.86	6.21

Hor = Plano horizontal Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente
*De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

⁵⁹ Fuente: SIGER.

ANEXO 6: COTIZACIÓN DE SOLARENERGY



Análisis de Retorno de Inversión

Cliente: Gpo Diseno Proy Cons Sup SA CV Fecha: 15 Octubre 2018

COSTO ACTUAL DE ENERGIA CON CFE			COSTO DE PROYECTO SOLAR	
PERIODO MENSUAL	CONSUMO EN kWh		Cantidad de Paneles	9
	842	+	Potencia de Paneles (watts)	330
	819	+	Potencia de Sistema (kW)	2.97
	799	+	% de Generacion	109.03%
	855	+		
	851	+	Precio/Watt USD	\$1.900
	827	+	Precio de SFV USD	\$5,643
Consumo anual de kWh de CFE	4,993	kwh	Tipo de cambio*	\$18.90
Precio promedio por kWh con CFE	\$4.020	mxn	Precio de SFV MXN*	\$106,653
Costo estimado de energia con CFE en sig. 12 meses	\$20,072	mxn		
IVA 16%	\$3,211	mxn	ROI FISCAL	2.94
Costo de Energia con CFE en 12 meses	\$23,283	mxn	ROI LINEAL	4.20
kWh por generar en 1 año por cada 1.00kWp	1,833	kwh		
Ciudad	CDMX			
kWh estimados por generar en 12 meses con SFV	5,444	kwh		
% de generacion solar vs 12 meses CFE	109.03%			
Precio real de SFV aplicando beneficio fiscal	\$74,657	mxn		
Retornos de inversión (ROI)				
ROI con deduccion fiscal	2.94	años		
ROI Lineal	4.20	años		
ROI con IVA factorizado en compra de SFV	4.87	años		
	Precios futuros con CFE		ROI factorizando incremento promedio historico en precio de energia de CFE = 7.00%	
Actual	\$23,283		4.20	años
Año 1	\$24,913		3.93	años
Año 2	\$26,657		3.67	años
Año 3	\$28,523		3.43	años
Año 4	\$30,520		3.21	años

Tipo de Cambio al día del anticipo

Precio de SFV NO incluye IVA

Analisis de Retorno de Inversión RVE-13 Rev.00.



ANEXO 7: COTIZACIÓN DE ETELA

Fecha: 23/10/2018
 No de cotización: MT20 20 16 6040
 Sucursal: Benito Juarez, Distrito Federal
 Asesor: Yessica Garcia Espinoza - - yessica.garcia@etesla.mx



Juan Bonilla
 Tamaulipas 176 Providencia Gustavo A. Madero Distrito Federal 07550
 Tel. Cel. (555) 274-7172
 ing.juan.93@gmail.com
 Sistema interconectado

Proyecto de ahorro: Paquete Fotovoltaico de 2.8 kWp

Por medio de la presente nos permitimos enviarle un cordial saludo, aprovechando para hacerle llegar nuestra propuesta que incluye: plan de ahorro, presupuesto financiero y plan de ingeniería, con las características platicadas anteriormente.



Impacto ecológico:



Ahorro de energía:



Notas:




La generación es aproximada en base al promedio de consumo de energía de un año del recibo de luz proporcionado por el cliente en base a los estimados de consumo del cliente, por lo que la empresa Comercializadora eTesla Sa de CV no es responsable de aumentos en el consumo que pudiesen derivarse de: 1. Aumentos en los hábitos de consumo, 2. Errores de medición por parte de CFE (ejemplo medidores viejos que no tuviesen un buen registro), 3. Dispositivos que no registrarán la energía "diabitos", 4. Una mala proyección del consumo. Solicitamos de la manera más atenta a nuestros clientes informarnos de cualquiera de dichas situaciones para poderles ofrecer el sistema que mejor se adecúe a sus necesidades futuras. La generación exacta del sistema puede variar principalmente por sombras, por lo que será validado por ingeniería una vez realizada la visita técnica.



Fecha: 23/10/2018
 No de cotización: MT20 20 16 6040
 Sucursal: Benito Juárez, Distrito Federal
 Asesor: Jessica Garcia Espinoza - - yessica.garcia@etesla.mx



Presupuesto
 Descripción de su propuesta financiera: **Paquete Fotovoltaico de 2.8 kWp**

	CANTIDAD	CONCEPTO	PRECIO
	8	Canadian policristalino 350W	
 	1	UNO-DM-3.3-TL-PLUS Kit de estructuras de aluminio especiales para módulos fotovoltaicos Otros materiales eléctricos varios para la instalación incluye cable fotovoltaico, protecciones eléctricas	\$4,497 USD

¿Te interesa cotizar con otra marca?, pregunta a tu asesor:



HASTA 12 MESES
 CON TODAS LAS TARJETAS DE CRÉDITO



GARANTÍA DE PRECIO
 MEJORAMOS CUALQUIER COTIZACIÓN

SUBTOTAL: \$4,497 USD

I.V.A: \$720 USD

*TOTAL: \$5,217 USD

Notas: El tipo de cambio se tomará el reportado por Banorte a la Venta del día en que se realice cada pago. Se requiere de un 50% de anticipo a la aprobación del proyecto, 35% antes de realizar el embarque de equipos, y 15% posterior a la instalación. El proyecto se entrega preparado para conexión con CFE.



OPCIONES DE FINANCIAMIENTO



Pago de Contado	\$ 99,114	Ahorro Mensual de Luz	\$2,129	Retorno de Inversión	4 años
Tarjeta de Crédito	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses	18 meses
Pago Mensual	\$ 34,030	\$ 17,511	\$ 12,004	\$ 9,251	\$ 6,498
Financiamiento	15%	35%	50%		
Enganche	\$ 14,867	\$ 34,690	\$ 49,557		
Pagos mensuales por plazo	15%	35%	50%		
A 12 meses	\$ 8,088	\$ 6,314	\$ 4,708		
A 24 meses	\$ 4,466	\$ 3,479	\$ 2,627		
A 36 meses	\$ 3,286	\$ 2,513	\$ 1,884		
A 48 meses	\$ 2,696	\$ 2,062	\$ 1,537		
A 60 meses	\$ 2,359	\$ 1,804	\$ 1,339		
A 72 meses	\$ 2,107	\$ 1,611	\$ 1,239		
A 84 meses	\$ 1,938	\$ 1,482	\$ 1,140		

Pago financiamiento vs CFE



INVIERTE en paneles solares y deja de pagar luz para siempre.

Deja de gastar y adquiere un activo que te de beneficios.

Es más barato comprar paneles solares que seguir pagando luz.

Notas: *La tabla de pagos y tasas son de referencia al financiamiento de CI Banco
*El tipo de cambio que se tomará es por Banorte al pago de cada día



ANEXO 8: REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA INTERCONEXIÓN⁶⁰

Requisitos técnicos para la interconexión de fuentes distribuidas de generación en pequeña escala.

1. ALCANCE

Este documento establece los requisitos y especificaciones técnicas para la interconexión entre una fuente de energía distribuida en pequeña escala y el sistema eléctrico nacional.

2. DEFINICIONES

Generación Distribuida (GD)

Equipos e instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico nacional por medio de un punto de interconexión.

Sistema Eléctrico

Equipos e instalaciones que entregan energía eléctrica a una carga.

Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Sistema eléctrico disponible en toda la república y que entrega energía eléctrica a las redes eléctricas locales.

Sistema Eléctrico Local (SEL)

Sistema eléctrico contenido enteramente dentro de uno o varios recintos y que no pertenece al Sistema Eléctrico Nacional.

Fuente de Energía Distribuida (FED)

Fuente de energía eléctrica que no está directamente conectada a los grandes sistemas de transmisión. Las fuentes incluyen generadores y tecnologías de almacenamiento de energía

Fuente de Energía Distribuida en Pequeña Escala.

Es una fuente de energía distribuida que es interconectada al sistema eléctrico nacional con tensiones menores a 1 kV y en potencias menores o iguales a 30 kW.

Interconexión

El resultado del proceso de conectar una fuente de energía distribuida al Sistema Eléctrico Nacional.

Isla

Condición en la cual una porción del sistema eléctrico nacional es energizado únicamente por uno o más sistemas eléctricos locales a través de los puntos de

⁶⁰ Fuente CFE.



interconexión mientras que esta porción del sistema eléctrico nacional está eléctricamente separado del resto del SEN.

Isla intencional

Una condición de operación en isla planeada

Isla no intencional

Condición de operación en isla no planeada.

Punto de interconexión (PI)

Punto donde un sistema eléctrico local es conectado al Sistema Eléctrico Nacional.

Punto de Conexión de una Fuente de Energía Distribuida

Punto en el que una fuente de energía distribuida (FED) es eléctricamente conectada a un sistema eléctrico ya sea local o nacional.

CFE

Comisión Federal de Electricidad

3. REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA INTERCONEXION

Los requisitos establecidos en el presente documento deben cumplirse en el punto de interconexión aunque los dispositivos usados para cumplirlos estén localizados en otro lugar. Los requisitos aplican tanto para la interconexión ya sea de una sola Fuente de Energía Distribuida o bien para varias, contenidas en un solo Sistema Eléctrico Local.

3.1. Requisitos Generales

3.1.1. Regulación de Tensión

La FED no deberá regular la tensión en el punto de interconexión. Así mismo no debe causar que la tensión de suministro del SEN salga de lo requerido por la CFE.

3.1.2. Sincronía

Para la interconexión de la FED con el SEN, se requerirá contar con los dispositivos necesarios para sincronizar ambos sistemas.

Para los casos de esquemas de cogeneración, la FED entrará en paralelo con el SEN sin causar fluctuación de tensión mayor a +/-5% de los niveles de tensión del SEN en el punto de interconexión y deberá cumplir con los requerimientos de disturbios que establezca CFE.

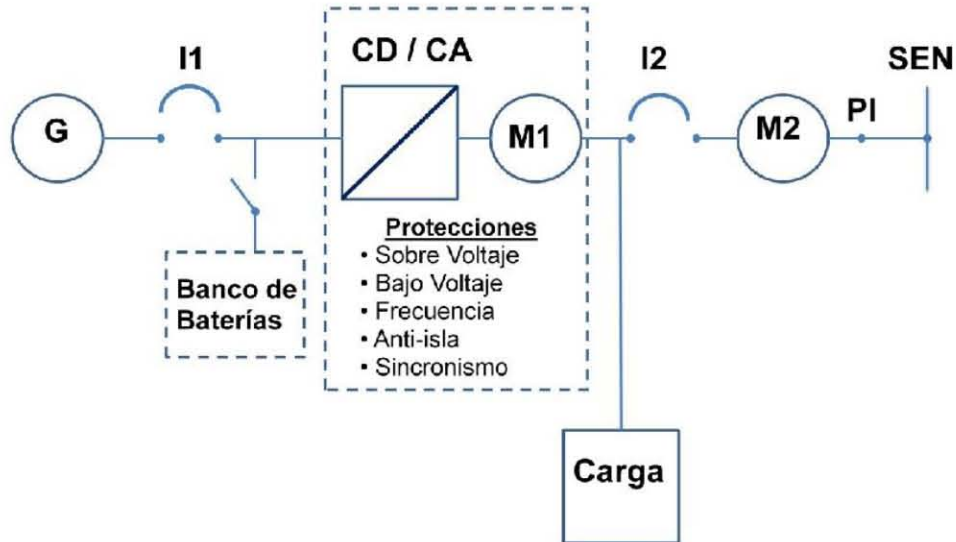
3.1.3. Energización del Sistema Eléctrico Nacional

La FED no debe energizar el SEN cuando el SEN esté desenergizado.

3.2. Condiciones Anormales de Operación

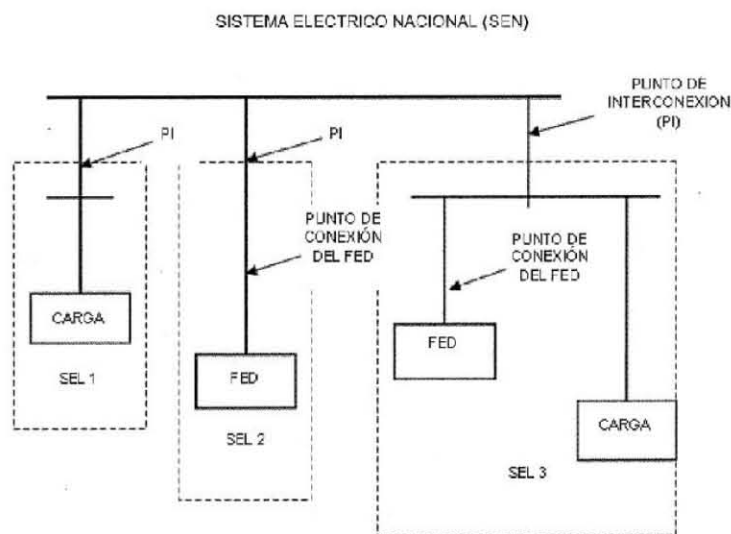
El FED deberá contar con los dispositivos de protección adecuados para desconectarse del SEN en caso de fallas en el propio SEN al cual se encuentra conectado, como se muestra en la figura No.1.

Figura No.1



El uso del banco de baterías es opcional. El convertidor CD/CA es opcional de acuerdo al equipo usado para generar.

Figura No. 2





3.2.1 Voltaje

La protección en el PI deberá detectar el valor rms o la frecuencia fundamental del voltaje de alimentación del suministrador de cada fase a neutro. Los tiempos totales de desconexión dependiendo del nivel de voltaje se indican en la Tabla No. 1. Los dispositivos de voltaje podrán ser fijos o ajustables en campo.

Tabla 1. Respuesta a tensiones anormales en el PI.

Rango de tensión (% de la tensión base)	Tiempo de liberación⁽¹⁾ (s)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2.00
$110 < V < 120$	1.00
$V \geq 120$	0.16

1 FED \leq 30 kW, tiempo máximo de operación

El voltaje deberá ser detectado en el PI o punto de conexión del FED de acuerdo a la figura No. 2.

La capacidad del fusible o interruptor termomagnético I1 debe ser seleccionado en función de la capacidad del generador, y el I2 debe ser seleccionado en función de la carga del servicio.

3.2.2. Frecuencia

Cuando la frecuencia del sistema se encuentre en los rangos dados en la Tabla No.2 la protección en el PI deberá operar con los tiempos totales indicados en la misma. Los dispositivos de frecuencia podrán ser fijos o ajustables en campo. Los ajustes de baja frecuencia deberán se coordinados con los dispositivos del SEN.

Tabla 2. Respuesta a frecuencias anormales en el PI.

Tamaño de la planta (KW)	Rango de frecuencia (Hz)	Tiempo de liberación⁽¹⁾ (s)
≤ 30	> 60.5	0.16
	< 59.5	0.16

1 FED \leq 30 KW, tiempo máximo de operación

3.2.3. Re-Conexión al PI

Después de un disturbio, el FED no deberá reconectarse hasta que el voltaje en el PI esté dentro de los límites pre-establecidos por la CFE y la frecuencia esté entre 59.3 Hz y 60.5 Hz.

Para los casos en que el FED cuente con equipo de reconexión automática deberá ser ajustado de tal manera que la re-conexión se de 5 minutos después de que el voltaje y la frecuencia se hayan restablecido dentro de los límites indicados anteriormente.

3.3. Operación en Isla

3.3.1. Operación en Isla No Intencional

Para una operación en isla no-intencional en la que la FED alimenta una parte del SEN en el PI, la FED deberá detectar esta condición y desconectarse del SEN en un tiempo no mayor a medio segundo.

3.3.2 Otros

Debido a la magnitud de la capacidad de generación, este tipo de proyectos no requiere de dispositivos especiales de protección en el SEN

El generador debe asegurarse que sus instalaciones cuenten con dispositivos de control y protección, diseñados para prevenir la formación de una isla eléctrica involuntaria al ocurrir cualquier disturbio eléctrico. No se aceptará el uso de fusibles para proveer esta función.

El medidor M1 que se indica en la figura 1 tiene la función de registrar la generación total en kWh de la FED y deberá ser suministrado por el generador o integrado como parte del FED. El medidor M2 es el medidor de facturación, ambos medidores se describen en el documento "Características de los equipos de medición para generación en pequeña escala"..

El generador será responsable de operar, mantener y reparar sus instalaciones a fin de que éstas cumplan en todo momento con los requisitos de seguridad y confiabilidad de la operación en paralelo con el sistema..



ANEXO 9: CONTRATO DE INTERCONEXIÓN⁶¹

MODELO DE CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA ESCALA.

CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA ESCALA QUE CELEBRAN, POR UNA PARTE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DENOMINADA EN LO SUCESIVO EL SUMINISTRADOR, Y POR LA OTRA _____, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARA EL GENERADOR, REPRESENTADO POR _____ EN SU CARACTER DE _____, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLAUSULAS.

DECLARACIONES

- I. Declara el **Suministrador** que:
- Es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, que se rige por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento, y acredita tal carácter en los términos del artículo 8 de la citada **Ley**.
 - Su representante, el señor _____ cuenta con todas las facultades necesarias para comparecer a la celebración del presente contrato, según consta en la Escritura Pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____, Notario Público número _____ de la ciudad de _____.
 - Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales del presente **Contrato**.
 - El presente **Contrato** es aplicable a todos los **Generadores con Fuente de Energía Renovable y Generadores con Sistema de Cogeneración** en Pequeña Escala con capacidad hasta de 30 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del **Sistema del Suministrador** para portear energía a sus cargas.
- II. Declara el **Generador** que:
- (Opción 1. persona física): Es una persona física que comparece por su propio derecho con capacidad jurídica para contratar y obligarse en términos del presente Contrato y se identifica con _____, expedida por _____, de fecha _____.
(Opción 2. persona moral): Es una sociedad mexicana, constituida de acuerdo con la Escritura Pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del licenciado _____, Notario Público No. _____ de la ciudad de _____, e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____.]
Su representante _____, quien actúa con el carácter de _____, cuenta con todas las facultades necesarias para la celebración del presente contrato, según se desprende de la Escritura Pública No. _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____, Notario Público No. _____ de la ciudad de _____ e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____].
 - Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este **Contrato**.
 - Se obliga a proporcionar al Suministrador, y según sea el caso, acreditar documentalmente con **Información Técnica**, que cuenta con equipo de cogeneración que cumple con los términos del artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

CLAUSULAS

PRIMERA. Objeto del **Contrato**. El objeto de este **Contrato** es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador** y la **Fuente de Energía Renovable** o el **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala del **Generador**;

SEGUNDA. Definiciones. Los términos que aparecen en este **Contrato**, ya sea en el propio cuerpo o en cualquiera de sus anexos, con inicial mayúscula y negrillas tendrán el significado que se les asigna en esta cláusula segunda. Dicho significado se aplicará al término tanto en singular como en plural.

- **Cogeneración.** Conforme a lo dispuesto en el artículo 36, fracción II, de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Contrato.** El presente **Contrato** para **Fuente de Energía Renovable** o **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala incluyendo todos y cada uno de sus anexos.
- **Generador.** La persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con **Fuente de Energía Renovable** o aquellas personas físicas o morales que cuenten con un **Sistema de Cogeneración** en Pequeña Escala.

⁶¹Fuente: CFE.

- **Información Técnica:** Información suficiente con la que se deberá demostrar que se cuenta con equipo de cogeneración que se acreditará con copias de alguno de los siguientes documentos: factura, manuales del fabricante, diagramas de proceso, entre otros.
- **Fuente de Energía Renovable: Generadores** de energía renovable como se define en el artículo 3, fracción II, de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- **Kilowatt hora (kWh).** Unidad convencional de medida de energía eléctrica.
- **Ley.** La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Parte.** El Suministrador de acuerdo a la **Ley** y la persona física o moral que suscribe el **Contrato**.
- **Sistema.** El Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador**.
- **Sistema de Cogeneración.** Dispositivos que en su conjunto producen energía eléctrica mediante **Cogeneración**.

TERCERA. Vigencia del **Contrato**. El presente **Contrato** surtirá sus efectos a partir de la fecha en que sea firmado por ambas **Partes** y tendrá una duración indefinida.

CUARTA. Terminación anticipada y rescisión. El presente **Contrato** podrá darse por terminado anticipadamente por cualquiera de las causas siguientes:

- a) Por voluntad del **Generador**, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Generador** al **Suministrador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- b) Por necesidades del servicio, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Suministrador** al **Generador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- c) Por acuerdo de las **Partes**.

El presente **Contrato** podrá rescindirse por contravención a las disposiciones que establece la **Ley**, su Reglamento y las demás disposiciones aplicables al **Contrato**, siempre y cuando dicha contravención afecte sustancialmente lo establecido en este **Contrato**.

Mientras no se rescinda el **Contrato**, cada **Parte** seguirá cumpliendo con sus obligaciones respectivas al amparo del mismo.

QUINTA. Entrega de energía por el **Generador**. El **Generador** se compromete a poner a disposición del **Suministrador** la energía producida por la **Fuente de Energía Renovable** o por el **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala, y el **Suministrador** se compromete a recibirla hasta por un total igual a la energía asociada a la potencia de _____ kW.

La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:

Para usuarios con servicio de uso residencial: hasta 10 kW.

Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión: hasta 30 kW.

SEXTA. Interconexión. Las inversiones necesarias para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios serán a cargo del **Generador**.

Asimismo, estará a cargo del **Generador** cualquier modificación que sea necesario realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del **Suministrador** y previa autorización de éste.

Las instalaciones y equipos necesarios en el Punto de Interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la conexión con el **Sistema** deberán cumplir con las especificaciones conducentes del **Suministrador** y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Las características de estas instalaciones y equipos serán las establecidas por el **Suministrador**.

SEPTIMA. Medición. Los medidores y los equipos de medición a ser usados para medir la energía entregada por el **Generador** al **Suministrador** y la que entregue el **Suministrador** al **Generador** serán instalados por el **Suministrador** a costa del **Generador**. Los medidores a instalar tendrán la capacidad de efectuar la medición neta (Net Metering) entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la energía eléctrica entregada por el **Generador** al **Suministrador**. En razón de ello, el **Generador** únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición neta y el costo del equipo convencional que instalaría el **Suministrador** para la entrega de energía eléctrica que corresponda.

El **Generador** puede instalar y mantener a su propia costa, medidores y equipo de medición de reserva en el Punto de Interconexión adicionales a los mencionados en el párrafo anterior de esta cláusula, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas que tiene establecidas el **Suministrador** para ese propósito.



OCTAVA. Contrato de Suministro. El **Generador** se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del **Suministrador**.

NOVENA. Facturación y pagos. Para fines de facturación, el consumo de kWh del **Generador**, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del **Generador** que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el **Generador** renuncia a cualquier pago por este concepto.

Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del **Suministrador** y se facturará en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava.

DECIMA. El **Generador** se obliga a no intervenir ni modificar los equipos en sus instalaciones que están asociados a la desconexión de su fuente de energía, ni a los asociados a la desconexión de sus instalaciones de las instalaciones del **Suministrador**. En caso contrario, el **Generador** deberá responder de los daños y perjuicios que cause el **Suministrador**.

DECIMA PRIMERA. Lugar de pago. Todos los pagos se harán en moneda de curso legal en los Estados Unidos Mexicanos en las oficinas de atención al público del **Suministrador** o en las instituciones o medios que éste establezca.

DECIMA SEGUNDA. Supletoriedad. Para lo no establecido en el presente Contrato, se aplicarán las disposiciones del contrato de suministro de energía eléctrica mencionado en la cláusula octava así como lo dispuesto en las disposiciones jurídicas aplicables.

DECIMA TERCERA. Modificaciones. Cualquier modificación al presente **Contrato** deberá formalizarse por escrito y ambas **Partes** deberán suscribir el convenio correspondiente.

DECIMA CUARTA. Caso fortuito y fuerza mayor. Las **Partes** no serán responsables por el incumplimiento de sus obligaciones cuando el mismo resulte de caso fortuito o fuerza mayor.

DECIMA QUINTA. Cesión de derechos. El **Generador** tiene prohibida la cesión parcial o total de los derechos y obligaciones derivadas del presente **Contrato**, sin la previa autorización por escrito del **Suministrador**.

DECIMA SEXTA. Legislación y tribunales. El presente **Contrato** se rige e interpreta por las leyes federales de los Estados Unidos Mexicanos y, en particular, por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. Las controversias que surjan del presente contrato serán competencia de los tribunales federales en la ciudad _____ y al efecto las partes renuncian al diverso fuero que pudiere corresponderles por razón de su domicilio u otras causas.

Este **Contrato** se firma en ___ ejemplares en la Ciudad de _____, el ___ de _____ de _____.

EL SUMINISTRADOR

EL GENERADOR

Las firmas y antefirmas que anteceden corresponden al **Contrato** celebrado entre _____ (el **Suministrador**) y _____ (el **Generador**).

ANEXO 10: REQUISITOS PARA LA CONTRATACIÓN⁶²REQUISITOS PARA LA CONTRATACION DE SERVICIOS
FOTOVOLTAICOS

NOMBRE: _____

Nº DE SERVICIO: _____

- | | |
|--|--------------------------|
| 1.- COPIA DE AVISO-RECIBO CFE | <input type="checkbox"/> |
| 2.- SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN (FORMATO 1) | <input type="checkbox"/> |
| 3.- IDENTIFICACION OFICIAL DEL TITULAR | <input type="checkbox"/> |
| 4.- CARTA PODER EN CASO DE SE UN GESTOR | <input type="checkbox"/> |
| 5.- IDENTIFICACION OFICIAL DE GESTOR | <input type="checkbox"/> |
| 6.- MANUALES DEL INVERSOR | <input type="checkbox"/> |
| 7.- MANUALES DE LOS PANELES | <input type="checkbox"/> |
| 8.- CROQUIS DE UBICACIÓN DEL SERVICIO (CON GEOREFERENCIA) | <input type="checkbox"/> |
| 9.- ESTUDIO TECNICO SISTEMA DE GENERACION (PROYECCION AHORROS) | <input type="checkbox"/> |
| 10.- CONVENIO/CONTRATO FOTOVOLTAICO | <input type="checkbox"/> |

⁶² Fuente: CFE.



ANEXO 11: SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN⁶³

FORMATO 1

SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN DE UN CLIENTE CON GENERACION RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA O MEDIANA ESCALA

Datos comerciales.

Nombre del Cliente: _____

Dirección: _____ Población: _____

Estado : _____ RPU: _____ Tarifa: _____

Datos de la instalación actual:

Voltaje que CFE suministra: _____

kVA totales instalados: _____ kW instalados: _____ kW contratados: _____

Instalación Propuesta:

1.- Indicar el tipo de Fuente de Energía para usar: Solar Eólica BioGas
 Cogeneración Otro: _____

2.- Indicar el número de unidades generadoras (paneles solares, hélices, etc.): _____ unidades

3.- Indicar la capacidad total en Watt de la Planta de Generación: _____ Watt

4.- Indicar la producción diaria promedio estimada de la planta de Generación: _____ Wh

5.- Indicar el modelo y marca del dispositivo CD/ CA : _____.

6a.- Indicar las protecciones que se proveen:

Sobre Voltaje Sincronismo Anti-isla
 Sub Voltaje Frecuencia Sobrecorriente

6b.- En caso de Media Tensión, indicar la marca y modelo de las protecciones incluidas:

7.- Indicar los documentos entregados a CFE:

Convenio completamente llenado Copia del manual del fabricante del generador
 Copia del manual del fabricante del dispositivo CD/CA Croquis de ubicación geográfica.

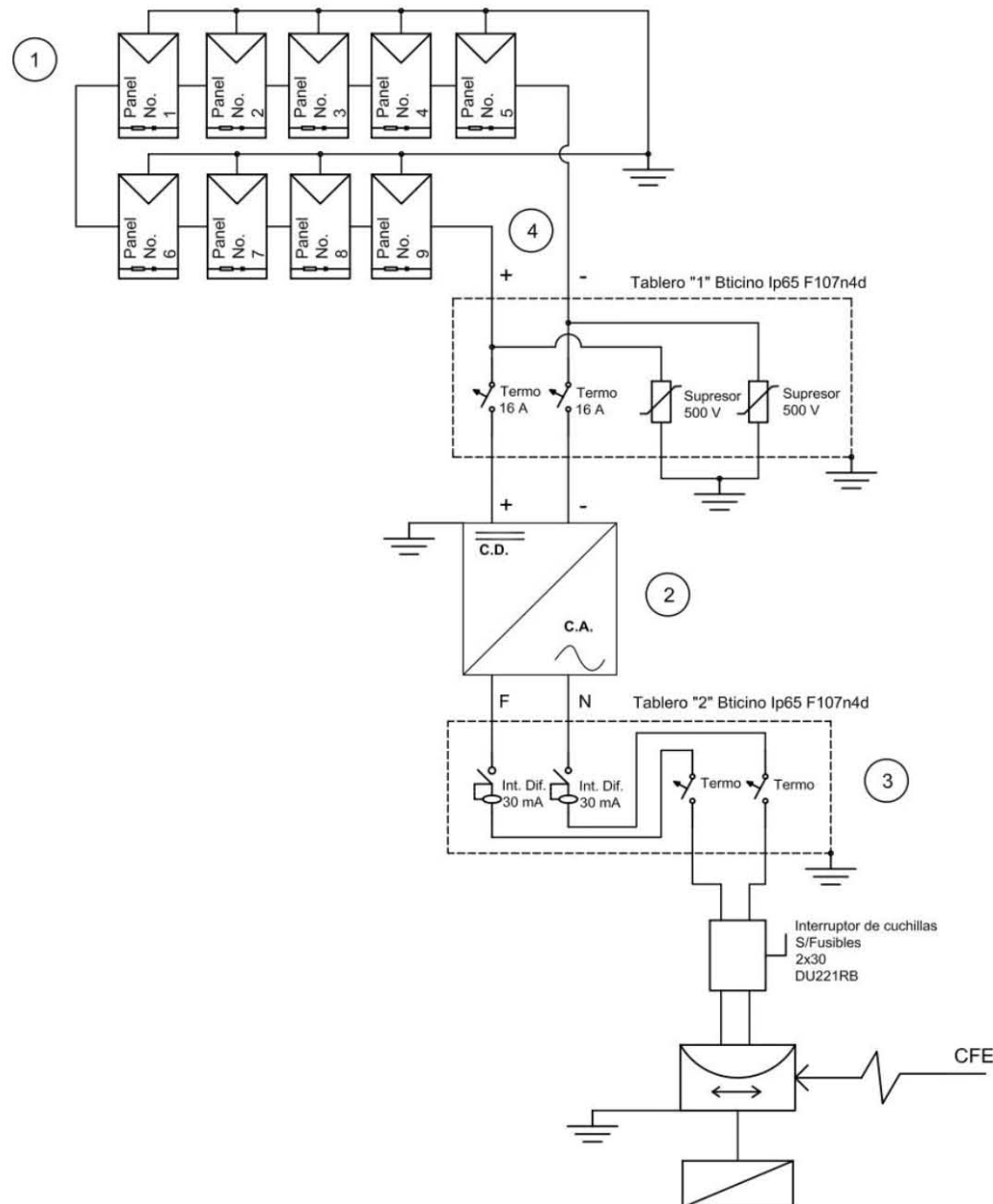
11.- Observaciones:

Lugar y Fecha: _____

RECIBE: _____

⁶³ Fuente: CFE.

ANEXO 12: DIAGRAMA UNIFILAR



- 1 La cantidad de paneles fotovoltaicos y sus capacidades dependerá de la selección de la propuesta (ver trabajo de investigación). Todas las propuestas de paneles se conectan en serie para poder tener una corriente de entre 8 y 9 A.
- 2 Las características del inversor que se vaya a usar, dependerá de los paneles seleccionados (ver trabajo de investigación). Todas las propuestas tendrán la misma conexión dentro de la instalación.
- 3 La selección de los interruptores diferenciales y pastillas termomagnéticas dependerá de la selección del inversor (ver trabajo de investigación). Los interruptores diferenciales tendrán la misma capacidad que las pastillas termomagnéticas.
- 4 Se consideran los conductores con las siguientes características tanto para el polo positivo como para el polo negativo:
 - 14 AWG
 - Tipo THW LS
 Dentro de una tubería Conduit de pared gruesa de $\frac{1}{2}$ "