

INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

Análisis de riesgos en la instalación de sistemas
fotovoltaicos interconectados a la red para la generación
distribuida en baja tensión

TESIS

Que como requisito para Obtener el Título como Ingeniero
en Energías Renovables.

PRESENTA

ACERO ORTIZ JESUS YAVE

BUTRON MORA LEONARDO FABIAN

HERNANDEZ SALGADO ADRIANA

Director/es de Tesis:

M. en D. Jorge Antonio Del Rio García

Codirector: Ing. Brenda Beatriz Hernández Juárez



Presentación y Directorio de Asesores.

La presente tesis esta titulada: ANÁLISIS DE RIESGO EN LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BAJA TENSION, realizada por los alumnos ACERO ORTIZ JESUS YAVE, BUTRON MORA LEONARDO FABIAN y HERNANDEZ SALGADO ADRIANA, bajo la dirección del asesor interno: M. en D. JORGE ANTONIA DEL RIO GARCIA y del asesor externo; ING. BRENDA BEATRIZ HERNANDEZ JUAREZ, ha sido aprobada y aceptada, como requisito parcial para obtener el grado académico de **licenciatura** como:

Ingeniera en Energías Renovables

Asesor/a Interno/a:



M. en D. JORGE ANTONIO DEL RIO GARCIA

Asesor/a Externo/a:



ING. BRENDA BEATRIZ HERNANDEZ JUAREZ

Agradecimientos

JESUS YAVE ACERO ORTIZ

Quiero dar las gracias a mi familia María de los Ángeles Ortiz rosales, Aurelio Acero Rojas, José Aurelio Acero Ortiz y Gabriel Acero Ortiz les doy las gracias por su apoyo incondicional su aliento de esperanza fue lo que me impulso a seguir con mis sueños y por eso estar eternamente agradecido con ustedes y espero seguir con sus sueños y metas. Espero y estén orgullosos de mi como yo lo estoy de ustedes – PAPIS LO LOGRAMOS-

Quiero agradecer a mis abuelos Aurelio Acero Méndez, María Nicomedes Rojas que me ayudaron, me apoyaron, es el cual por y mis ángeles que a pesar de que y no están conmigo en este plano terrenal sé que están conmigo y se todos ustedes están orgullosos de mi -tío y pepes gracias por sus consejos y gracias por formar parte de mi vida, Wichito tus niñas jamás estarán en tan buenas manos como lo fueron las tuyas-

A mis maestros mi asesor Jorge Antonio del Rio García, Brenda Beatriz Hernández Juárez, Dánahe Cancino pineda, coach José Eduardo Herrera Leguizamo, Juan Bernabé Trujano Castro, Kevin Guiseppe Sánchez Peña muchas gracias por su paciencia, su conocimiento sé que no soy ni seré el mejor alumno que tendrán, pero pueden asegurar que fue uno de los que más se esforzó por saber tanto como ustedes y me seguiré esforzando para poder llegar más y más alto, tan alto como ustedes.

Lizbeth, Adriana, leonardo muchas gracias por ser mis amigos, por todas las fiestas a la que fuimos, todas las desveladas que tuvimos, los proyectos que compartimos, las salidas fuera de la escuela, cada trago que nos dimos juntos y cada momento que compartimos fue especial para mí, pero sobre todo gracias por ser mis amigos y convertirse en mi familia.

GRACIAS A TODOS POR SU APOYO Y POR FORMAR PARTE DE MI HISTORIA.

LEONARDO FABIAN BUTRON MORA

A mis padres y Hermana

“Ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro amado padres. Mi recorrido académico ha sido un trayecto no solo de crecimiento personal e intelectual, sino que supuso un antes y un después en mi vida como ser humano y me siento feliz de que estén a mi lado en este momento tan importante, gracias por ser quienes son y por creer en mí”

A mis compañeros:

“Amigos míos, hoy culminan esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Hoy nos toca cerrar un capítulo maravilloso en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por su apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio. Gracias por estar siempre allí. “

A la persona más importante

No seas demasiado engreído muchacho, sin importar lo bueno que seas, recuerda, que solo un tonto se deja llevar por la situación, pensando que es el elegido; que es alguien especial y que únicamente por eso triunfara y lo lograra ¡ja! No amigo mío, eso es falso, y creer en eso te llevara a la ruina.

Recuerda ser siempre el tonto, el leproso, valora siempre los riesgos y actúa desde las sombras, siempre subestimado por tus enemigos, pero siempre tan constante como estrella en lo alto, no todos son tus amigos y muchos te querrán llevar hacia la ruina con tal de que no triunfes mientras que otros no se darán cuenta de que están yendo hacia el abismo y te querrán llevar por ese camino por esa razón cuida todos tus movimientos.

Agradece a quienes te brinde de su ayuda sin importar sus intenciones, porque, aunque tenga intenciones ocultas solo depende de ti si servirás a su causa como pago por su ayuda mientras que al que lo realice de buena voluntad has de apoyarle siempre, aunque no necesite de tu apoyo en agradecimiento por brindarte apoyo en los momentos oscuros. **Remember Me**

ADRIANA HERNANDEZ SALGADO

Agradezco a mi familia, especialmente a mis padres por todo su apoyo incondicional en el trayecto de mi carrera, a mi madre Marissa Salgado Alvares por todo sus buenos deseos y conocimientos de conseguir material lo más rápido, fácil y económico posible, sus bendiciones y el amor que me daba cuando más complicada era mi carrera y cuando estaba a punto de rendirme me levanto para finalizar cada uno de mis proyectos y alcanzar mis metas por más difíciles que fueran, a mi padre Andres Hernández Marban por ser mi compañero de clases en mis proyectos, cooperación con su herramienta y gran conocimiento y facilidad para ayudarme a armar cada uno de ello, Gracias por estar a mi lado siempre son los mejores padres del mundo y los amo demasiado. A mis amigos que estuvieron a lo largo de mi universidad y en mis residencias profesionales, Lizbeth, Jesús, Leonardo, gracias por su amistad, sé que llegaremos lejos.

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan (TESCH) por brindarme el apoyo incondicional para lograr cada uno de nuestros proyectos y a mis maestros que tuve durante todo este tiempo fueron los mejores profesores para formarnos como ingenieros, los quiero y los admiro por siempre.

Agradezco al Mtro. Jorge Antonio del rio García por sus valiosas sugerencias, aportaciones, apoyo y tiempo dedicado para el termino de nuestra tesis, aun que tuvieran jornadas largas durante su trabajo siempre estuvieron al pendiente de nosotros gracias por soportar esta travesía.

Doy gracias a dios por darme la vida y dejarme estar aquí hoy concluyendo con mis tesis, por todos los retos que me puso a cada día en lo largo de mi carrera y por ello me ha hecho la persona que soy.

No es fácil llegar, se necesita empeño, lucha y deseo, pero sobre todo apoyo como el que he recibido durante este tiempo. Ahora más que nunca se acredita mi cariño, admiración y respeto. Gracias por lo que hemos logrado. **Con amor la china**

Índice General

Resumen	12
Introducción	13
Planteamiento del problema	14
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
Justificación	16
Capítulo 1.....	18
1. Energía Solar Fotovoltaica	18
1.1 Energía	18
1.1.1 Energía Electromagnética.....	18
1.1.2 Radiación solar.....	19
1.1.3 Irradiancia.....	20
1.1.4 Irradiación.....	21
1.1.5 Espectro Electromagnético.....	21
1.1.6 Factores de afectación.....	22
1.1.6.1 Absorción.....	22
1.1.6.2 Reflexión.....	23
1.1.6.3 Masa Del Aire.....	24
1.1.6.4 Horario solar.....	25
1.1.7 Tipos de Radiación.....	26
1.1.7.1 Difusa.....	26
1.1.7.2 Directa.....	26
1.1.7.3 Albedo.....	26
1.1.7.4 Radiación Global.....	27
1.2 Aprovechamiento de la radiación.....	27

1.2.1	Posicionamiento del sol.....	28
1.2.2	Inclinación de los módulos fotovoltaicos.....	29
1.2.3	Orientación de los módulos fotovoltaicos.....	29
1.2.4	Hora solar pico.....	30
1.3	Efecto Fotovoltaico.....	30
1.3.1	Elemento base.....	32
1.3.2	Estructura atómica del silicio.....	32
Capítulo 2	35
2.	Celdas y módulos Fotovoltaicos.....	35
2.1	Composición de una celda fotovoltaica.....	35
2.2	Funcionamiento de una celda fotovoltaica.....	35
2.3	Tipos de módulos fotovoltaicos.....	36
2.3.1	Primera generación.....	37
2.3.1.1	Paneles policristalinos.....	37
2.3.1.2	Paneles Solares Monocristalinos.....	37
2.3.2	Segunda Generación.....	38
2.3.3	Tercera Generación.....	38
2.4	Estructura de un módulo fotovoltaico.....	39
2.4.1	Células fotovoltaicas.....	40
2.4.2	Cubierta frontal.....	40
2.4.3	Encapsulado EVA.....	40
2.4.4	Marco de apoyo.....	40
2.4.5	Protección posterior.....	40
2.4.6	Caja de diodos.....	41
2.5	Funcionamiento de un módulo fotovoltaico.....	41
2.6	Eficiencia modular.....	42
2.6.1	Eficiencia del panel solar.....	42
2.6.2	Tecnologías en los módulos.....	43
2.6.3	Diferencia entre tecnologías.....	43

2.6.3.1 Tecnología PERC.....	44
2.6.3.2 Tecnología HALF CELL.....	44
2.6.3.3 Tecnología SHINGLED.....	45
2.6.3.4 Tecnología heterojunction HJT.....	46
2.6.3.5 Tecnología MBB	47
2.6.3.6 Tiling ribbon.....	48
2.6.3.7 Tecnología IBC.....	49
2.7 Producción de energía	49
Capítulo 3.....	51
3. Sistemas Fotovoltaicos.....	51
3.1 Tipos de sistemas Fotovoltaicos.....	51
3.1.1 Sistemas Interconectados a la Red Eléctrica (GRID-TIE) (Conectados a CFE).....	51
3.1.2 Sistemas Autónomo.....	54
3.1.3 Sistemas Híbridos interconectados a la red	56
3.2 Generación Distribuida.....	57
3.3 Componentes de un sistema solar fotovoltaico interconectado.....	58
3.3.1 módulos.....	58
3.3.1.1 Composición, eficiencia y vida útil.....	59
3.3.2. Estructura.....	59
3.3.2.1 Estructura de panel sobre suelo.....	60
3.3.3 Inversor.....	61
3.3.3.1 Tipos de inversores.....	62
3.3.3.1.1 Inversores monofásicos.....	62
3.3.3.1.2 Inversores trifásicos.....	63
3.3.3.2 Diferencias en los inversores.....	64
3.3.3.2.1 Potencia.....	64
3.3.3.2.2 Lugar de instalación.....	64
3.3.3.2.3 Coste de instalación.....	64
3.3.3.2.4 Tensión adaptable.....	64

3.3.4	Micro inversor.....	64
3.3.4.1	Ventajas del uso de micro inversores.....	65
3.3.5	MPPT.....	65
3.3.6	Controladores.....	67
3.3.7	Protecciones.....	67
3.3.7.1	Protecciones para el lado de corriente directa.....	68
3.3.7.2	Protecciones para el lado de corriente alterna.....	68
3.3.8	Cajas de conexión.....	69
3.3.9	Optimizadores	70
3.4	Conexión eléctrica de los módulos.....	70
3.4.1	Circuito serie.	70
3.4.2	Circuito paralelo.....	71
3.4.3	Circuito serie paralelo.....	71
Capítulo 4	72
4.	Fallos en los sistemas Fotovoltaicos.....	72
4.1	Riesgos de fallos.....	72
4.2	Riesgos climáticos.....	73
4.2.2	Zonas áridas y desérticas.....	75
4.3	Instalación incorrecta del sistema fotovoltaico	76
4.3.1	Hombre panel.....	76
4.3.2	Equipo de protección personal.....	78
4.3.3	Calidad del material.....	78
4.3.3.1	Estructura metálica.....	80
4.3.3.1.1	Estructuras para cubiertas inclinadas	81
4.3.3.1.2	Estructuras para superficies planas.....	81
4.3.3.1.3	Estructuras para placas fotovoltaicas para suelo.....	81
4.3.3.1.4	Estructuras para cubiertas planas.....	81
4.3.3.2	Accesorios.....	82
4.3.4	Sistema fotovoltaico.....	82
4.3.4.1.1	Cableado en la instalación.....	82

4.3.4.1.2 Errores en el diseño.....	83
4.3.4.1.3 Instalación de los componentes.....	84
4.3.4.1.4 Defectos de fábrica.....	85
4.3.4.1.5 Mal funcionamiento del inversor.....	85
4.3.4.1.6 Puntos calientes.	88
4.3.4.1.7 Mala orientación.....	90
4.3.4.1.8 Inclinación incorrecta.....	90
4.3.4.1.9 Orientación Sur.....	91
4.3.4.1.10 Orientación oeste.....	92
4.3.4.1.11 Orientación este-oeste.....	92
4.3.4.1.12 Distribución regular.....	92
4.3.4.1.13 Mayor cantidad de módulos.....	92
4.3.4.1.14 Aumenta la efectividad del panel solar.....	93
4.3.4.1.15 Es más aerodinámica.....	93
4.3.4.1.16 Menos contrapeso en la cubierta	93
4.3.5 Cálculos erróneos.....	93
4.3.5.1 Protecciones.....	94
4.3.5.2 Protección de tierra.....	95
4.3.6 Conexiones.....	95
4.3.6.1 Conexiones serie paralelo.....	96
4.4 Mantenimiento.....	96
4.5 Cableado suelto	97
4.6 Daño interno de los módulos.....	97
4.7 Daños causados por factores externos	98
Metodología	100

Capítulo 5.....	104
5.1 Marco jurídico organismos reguladores.....	104
5.1.1 Cenace.....	104
5.1.2 SENER (secretaria de Energía)	104
5.1.3 EMA (Entidad Mexicana de Acreditación)	105
5.1.4 CFE.....	105
5.1.4.1 Reestructuración de CFE.....	105
5.1.5 Generación.....	106
5.1.5.1 Generación distribuida.....	106
5.1.6 Comercialización.....	106
5.1.7 Control y despacho	106
5.1.8 Transmisión y distribución	107
5.1.9 CRE.....	108
5.1.10 Marco regulatorio.....	108
5.1.10.1 LIE (Ley de la Industria Eléctrica)	108
5.1.10.2 Ley de transición energética.....	108
5.2 Clasificación de centrales eléctricas.....	109
5.2.1 Interconexiones de centrales eléctricas menores a .5MW.....	109
5.2.1.1 Unidad de verificación.....	109
5.3 Contratos.....	109
5.3.1 Net metering.....	109
5.3.2 Net Billing.....	112
5.4 Incentivo Fiscal Federal	113
Resultados	114
Conclusiones	139
Referencias.....	142

Resumen

En un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica ocurren frecuentemente fallas debido al poco conocimiento y a la desinformación; en el presente trabajo se hace un énfasis en donde es más recurrente ocasionarlas. En esta tesis el estudio sobre el dimensionamiento, la implementación, instalación y el mantenimiento de un sistema fotovoltaico se realiza a través de un correcto uso de información sobre cada componente, como evitar ciertas fallas en los cálculos y en su aplicación. Este estudio se divide en 5 capítulos: donde el primer capítulo describe el aspecto sobre la energía solar relacionada al tema fotovoltaico, como lo es la radiación y la inclinación apta para un módulo fotovoltaico y la hora de mayor obtención de energía solar.

En el segundo capítulo se describe toda la composición de los módulos fotovoltaicos, como lo es su estructura y los tipos de módulos con sus distintas generaciones para determinar cuál es más apto para una instalación dependiendo la demanda y el presupuesto del usuario y las especificaciones de estos.

En el capítulo tres se representan los distintos tipos de sistemas fotovoltaicos y los componentes que deben ser instalados conforme a la vida útil de estos; su composición y materiales con los que están hechos sus potencias y sus ubicaciones de instalación y cuidados de colocación, recalcando las protecciones debidas para evitar los fallos.

En el cuarto capítulo se marcan los fallos más recurrentes hechos por los instaladores, donde estos son causados por mala información y no se realiza un estudio que determine el uso de materiales dando a recalcar la poca practicidad de los materiales, estos siendo de mala calidad, el mal funcionamiento de estructuras y ubicándolas de manera errónea o poniendo el sistema de manera irregular a lo establecido, así como un mal mantenimiento acortado el tiempo de vida de los sistemas.

En la quinta parte sobre este análisis se establece el marco jurídico describiendo organismos reguladores, distribuidores y productores de energía los cuales ayudan conforme a la normativa, a la producción y venta de energía con disponibilidad de contratos para su interconexión a la red eléctrica.

Introducción

Dentro de la actualidad en industria fotovoltaica las fallas son muy recurrentes debido a que los instaladores cometen errores en los cuales son ocasionados por poco mantenimiento y cuidado que se debe tener en cada componente del sistema, orientación geográfica, manejo de materiales y herramientas, uso correcto el equipo de seguridad, etc. También el uso de material de baja calidad es un factor importante que afecta directamente al tiempo de vida de una instalación fotovoltaica.

El tiempo estipulado mínimo de vida de una instalación fotovoltaica tiene una mínima de 25 años a 30 años, con su debido mantenimiento; en un sistema fotovoltaico el ROI (retorno de inversión) tiene que ser de un máximo de 4 años en un sistema de nivel residencial, para que este sea factible para el cliente.

Mediante un análisis de una instalación se pretende identificar cada una de las fallas más recurrentes las cuales no son perceptibles o son despreciables al momento de poner un sistema apuesta en marcha, muchas de estas fallas son visibles en puntos críticos de una instalación, las cuales llevan a el cambio de componentes del sistema o el mismo sistema por la calidad de materiales y dispositivos los cuales componen la instalación.

Un sistema fotovoltaico es una herramienta de generación de energía limpia y aunque cuenta con muchos beneficios y ventajas también implica algunos riesgos si está es instalada de una forma inadecuada y si no se respalda la instalación por personal capacitado, los problemas van desde el desprendimiento de los paneles de su soporte hasta el sobre calentamiento e incendio del sistema.

Actualmente los costos bajos de instalación llevan a una baja calidad de materiales de producción energética y estructurales, no por ende los altos costos significan una mejor y mayor eficiencia del sistema si esta presenta fallas en la instalación.

Planteamiento del problema

En la actualidad la energía requerida en los hogares para su consumo es generada en su gran mayoría por Comisión Federal de Electricidad (CFE) y algunas otras pequeñas empresas de venta de energía minorista, por lo cual es fácil deducir que la demanda y el consumo de energía eléctrica será más costosa debido a que la generación está usando el recurso natural para poder producirla, esto lleva a una gran inversión para la compra venta de energía eléctrica. Sin embargo, muchas de las personas con alta demanda energética optan por implementar sistemas fotovoltaicos en sus residencias, esto lleva a que la demanda de productos, implementos e instrumentos para la puesta en marcha de sistemas fotovoltaicos sean producidos en masa. También conlleva a piratería y baja calidad en gran mayoría de componentes y conectores lo cual esto genera un problema de fallas en las residencias, hogares e industrias con la generación de energía.

Las fallas llegan a causar problemas mínimos como son los cortos circuitos, problemas con la generación de energía eléctrica, o el riesgo de incendio del sistema fotovoltaico, también producen problemas a mayor escala como la quema de componentes o pérdidas totales de la inversión reflejadas en el sistema fotovoltaico.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de riesgo para identificar las fallas en la implementación y aplicación de un sistema fotovoltaico, y así obtener un correcto funcionamiento de la instalación de energía fotovoltaica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer el principio del funcionamiento de un sistema fotovoltaico e identificar cuáles son las fallas más comunes en la instalación.
- Determinar los factores los cuales afectan el funcionamiento de un sistema fotovoltaico, para poder erradicarlos.
- Realizar un análisis de las fallas que se puedan corregir y que afecten el funcionamiento de un sistema fotovoltaico a corto y largo plazo.

Justificación

En la mayoría de los sistemas se presentan riesgos, los cuales causan fallas que amenazan el tiempo de vida de los sistemas fotovoltaicos, como las instalaciones donde son colocados, el personal de mantenimiento e instalación y terceras personas que se encuentran en las áreas cercanas a la instalación.

Estos riesgos son causados principalmente por el poco conocimiento de los instaladores al momento de realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento del sistema, sin los cuales no es posible generar un correcto dimensionamiento del sistema, la elección de las protecciones o el cableado que llevan corriente eléctrica la cual será utilizada por toda la instalación eléctrica, generando fallas en las instalaciones debido a un manejo incorrecto de los componentes y herramientas, como una mala colocación en el sitio elegido ocasionando una disminución considerable al sistema fotovoltaico o incluso su pérdida total al no involucrarse lo necesario para estudiar de manera correcta el sitio de instalación, siendo estos causados por una falta de capacitación en los temas de la normativa oficial Mexicana requerida para la realización de instalaciones eléctricas, equipos de seguridad personal, riesgos y protección contra incendios, trabajos en alturas, condiciones de seguridad en los centros de trabajo contra electricidad estática, e instalación de sistemas fotovoltaicos interconectada a la red entre otros.

El mal uso de herramienta generar fallos en la implementación dentro de una instalación si no se cuenta con el debido conocimiento de su funcionamiento, así como también la falta de la herramienta correcta ocasiona errores en el sistema que no son percibidos por estas personas que desconocen de su correcto uso, siendo esto principalmente al momento del ensamblaje, los cuales pueden generar problemas con la compatibilidad en los componentes a pesar de ser de una alta calidad.

La detección de fallas en la instalación de un sistema fotovoltaico puede evitar bastantes riesgos que atenten contra la vida funcional de un sistema así como con la integridad del sitio de instalación y los residentes, trabajadores o componentes que se encuentren cerca de la misma, la identificación de cada una de estas fallas es de suma importancia, ya que cada una puede representar un costo de recuperación menor o mayor

dependiendo de cada una de ellas, así como también problemas legales que puedan ser ocasionados por el incendio de los inmuebles donde se encuentre instalado el sistema siendo incluso vidas salvadas evitando una catástrofe que se genere por una incorrecta instalación.

Al igual que el poco conocimiento de la normativa para la realización de las instalaciones fotovoltaicas, hay poca experiencia práctica en el campo laboral, esto atentando contra la seguridad de la persona que se encuentra instalando, las instalaciones, el personal calificado y la seguridad de terceros.

La seguridad de las instalaciones es muy importante, así como la de terceros que se encuentren dentro de las instalaciones y que lamentablemente en muchas ocasiones se ven afectados por el descuido de los instaladores perdiendo grandes sumas de dinero por un trabajo ineficaz y deficiente.

Todo esto causado por los constantes fallos en las instalaciones fotovoltaicas alrededor del país por instaladores sin la capacidad necesaria ni el conocimiento en la elaboración de un correcto, funcional, seguro y eficiente sistema fotovoltaico.

Con esto generando conciencia en los trabajadores que instalan sin tener noción de la normativa antes, durante y después de la instalación.

Y para esto se realizará un análisis de cada uno de los fallos posible en las instalaciones, así como las consecuencias que pueden llegar a traer a los instaladores por hacer caso omiso al momento de instalar o que por falta de conocimiento no se tome la importancia de todas las medidas de seguridad y normativa que existen y que no siguen conforme a lo que indican las respectivas normas de dentro de su país.

Capítulo 1

1. Energía Solar Fotovoltaica.

1.1 Energía.

La energía se muestra como una propiedad de los cuerpos o sistemas en virtud, la cual tiene la capacidad de transformarse o generar una acción o un trabajo. El trabajo es una forma de transformación de la energía, así como el calor o la luz. Esta se usa en diversas áreas del conocimiento como son la física y la química. Toda fuerza que realiza un trabajo sobre un objeto provocará un cambio de energía en él. (Banyeres, 2012)

En la física existe un principio fundamental llamado “Principio de la conservación de la energía” el cual establece que la energía no puede crearse ni destruirse, solamente transformarse el cual rige absolutamente todos los fenómenos físicos. (INTEF, 2012)

Por ejemplo, un objeto que cae de cierta altura con una velocidad inicial igual a cero, transforma toda su energía potencial gravitatoria en energía cinética a medida que va ganando velocidad al acercarse al piso.

La energía también puede almacenarse para ser usada cuando se requiera. A través de elementos de almacenamiento que acumulen la energía en su forma química para después transformarla a energía eléctrica teniendo de ejemplo las baterías o las pilas.

La principal fuente de energía que requiere un módulo fotovoltaico para la generación de energía eléctrica proviene del sol por medio de ondas electromagnéticas.

1.1.1 Energía Electromagnética.

La energía solar consiste en ondas de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio y se trasladan a la velocidad de luz desde el sol hacia el planeta tierra donde es aprovechada por los módulos fotovoltaicos siendo llamada energía electromagnética o radiación solar igualmente.

Al espacio dónde se encuentran estas ondas se le llama campo electromagnético y se expresará en función de las fuerzas del campo magnético y del campo eléctrico. (Valdes, et al., 2009)

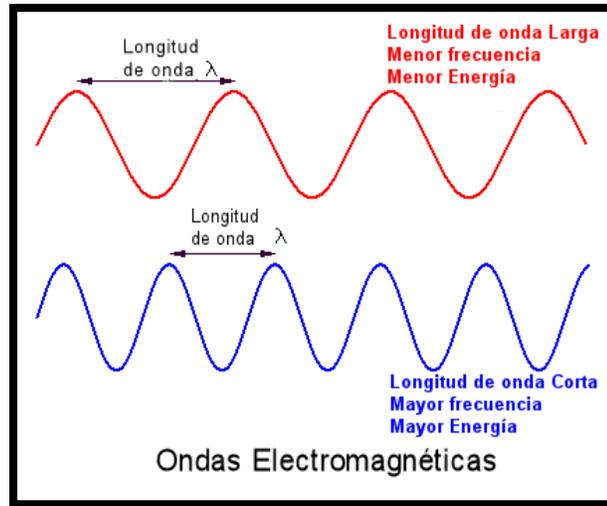


Figura 1 Movimiento de las ondas electromagnéticas;
(Energía electromagnética, Wiki Manzandoteco, Fandom, n.d.).

1.1.2 Radiación solar

La radiación solar es la energía que llega a nuestro planeta emitida por el astro distante, gracias a esta es que la vida en el planeta es posible siendo el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y climatológicos.

La energía que aprovechamos se da a través de fusiones nucleares dadas por reacciones del hidrogeno emitidas en la superficie del sol dando lugar a la energía transmitida a través de ondas electromagnéticas o radiación hasta la superficie de la atmosfera terrestre.

La radiación viaja desde el espacio y llega hasta la superficie de la atmosfera terrestre dándonos una irradiancia de 1368 W/m². (Sabag, 2011)



Figura 2 radiación entrante a la tierra

(Rafael Almanza, 2022)

1.1.3 Irradiancia.

La irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. La irradiancia es la cantidad promedio de energía que incide por unidad de área por unidad de tiempo sobre una superficie. Las unidades en que se mide son las unidades radiométricas y es en W/m^2 (Banyeres, 2012)

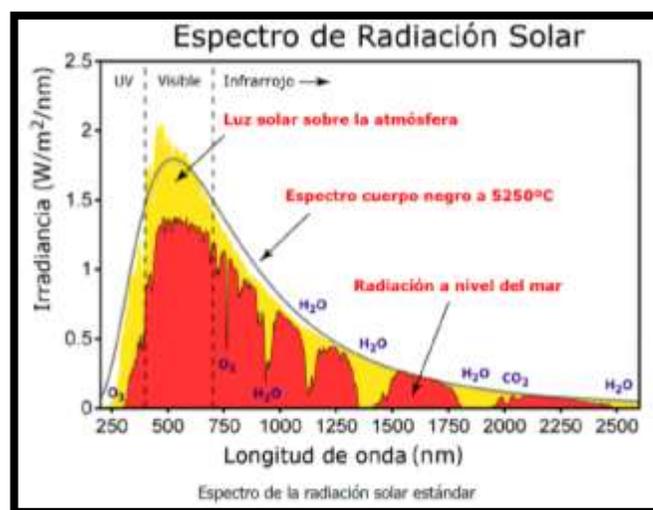


Figura 3 Espectro De Radiación Solar

(Jorge Reyes, 2020)

1.1.4 Irradiación.

La irradiación solar es la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una superficie colocada en un lugar y tiempo determinado. La magnitud es frecuentemente designada por los medios de comunicación social como radiación solar. (Banyeres, 2012)

1.1.5 Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar.

Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que además de permitir ver el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación. El espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas, aunque esta división es inexacta. Existen ondas que tienen una frecuencia, pero varios usos, por lo que algunas frecuencias pueden quedar en ocasiones incluidas en dos rangos.

Por encima de la frecuencia de las radiaciones infrarrojas se encuentra lo que comúnmente es llamado luz, un tipo especial de radiación electromagnética que tiene una longitud de onda en el intervalo de 0,4 a 0,7 micrómetros. Este es el rango en el que el sol y las estrellas similares emiten la mayor parte de su radiación. Probablemente no es una coincidencia que el ojo humano sea sensible a las longitudes de onda que emite el sol con más fuerza. Las unidades usuales para expresar las longitudes de onda son el Angstrom y el nanómetro. La luz que vemos con nuestros ojos es realmente una parte muy pequeña del espectro electromagnético. La radiación electromagnética con una longitud de onda entre 380 nm y 760 nm (790-400 terahercios) es detectada por el ojo humano y se percibe como luz visible.

La luz puede usarse para diferentes tipos de comunicaciones. Las ondas electromagnéticas pueden modularse y transmitirse a través de fibras ópticas, lo cual resulta en una menor atenuación de la señal con respecto a la transmisión por el espacio libre. (Fontal et al., 2005)

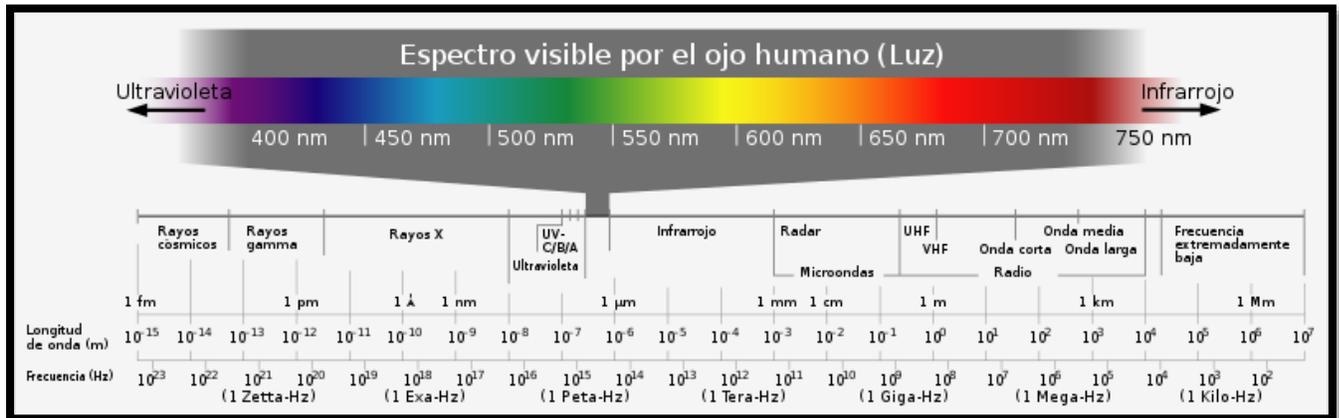


Figura 4 Espectro Visible Por EL Ojo Humano
(Lynch & Livingston, 2001)

1.1.6 Factores de afectación.

Existen distintos factores naturales que afectan el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos, los cuales son muy importantes a la hora de su instalación. Estos factores afectan negativamente a los módulos robándoles la eficiencia que deberían dar por no alcanzar las condiciones óptimas para un correcto funcionamiento y aprovechamiento de la radiación entrante a la tierra.

1.1.6.1 Absorción.

Uno de los factores más frecuentes en la pérdida de la radiación que llega a la superficie es la absorción la cual se da por un conjunto determinado de gases que existen en la atmosfera y que contribuyen al efecto invernadero en nuestro planeta.

La absorción por un determinado gas se da cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular del gas. Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura.

En la atmosfera como se ha mencionado existe un flujo de distintos tipos de gases, los cuales pueden absorber la energía encontrada en la radiación o ser transparentes ante esta misma, pero tiene un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta procedente del Sol siendo el principal responsable de este fenómeno el ozono, así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja que se dirige a la superficie de la Tierra y los responsables en este caso son el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases como el metano y el óxido nitroso. (Domínguez, 2004)

La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera y en el calentamiento de la misma. Este proceso es conocido como el efecto de invernadero natural. Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie sería aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta sería imposible. (Pareja Aparicio, 2010)

1.1.6.2 Reflexión.

La radiación solar viaja en línea recta, pero puede ser reflejada por superficies, gases y las partículas en la atmósfera desviando esta energía. Esto ocurre cuando un fotón afecta a un obstáculo sin ser absorbido cambiando solamente la dirección del recorrido de ese fotón. También se le llama radiación albedo y es la causante de que la luz reflejada genere quemaduras por la cantidad de radiación que llega a un punto debido a este fenómeno. (Pareja Aparicio, 2010)

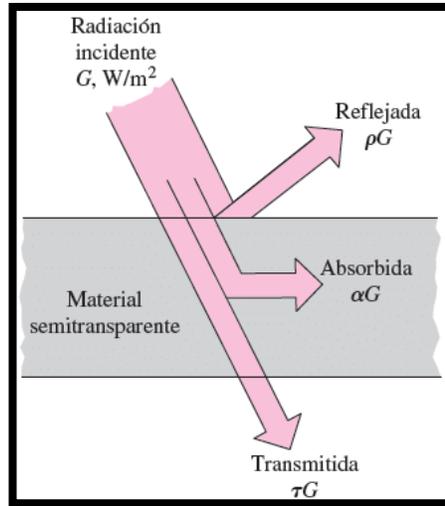


Figura 5 Reflexión Y Absorción De La Radiación
(Inna Samsón, 2019)

1.1.6.3 Masa Del Aire.

La masa del aire (AM) suele ser una medida que nos indica el espesor de la atmosfera y la distancia recorrida de la radiación hasta la superficie indicada, esta distancia suele variar dependiendo de la altura del sol en el lugar, teniendo un valor de 1 AM cuando la altura solar sea de 90° .

Al disminuir la altura del sol el espesor del aire aumentará y por consecuente la radiación disminuirá por la cantidad de nubosidad que tendrá que ir atravesando para llegar a la superficie.

La masa de aire se relaciona con el ángulo cenital mediante la siguiente expresión:

$$AM = 1 / \cos \alpha$$

siendo α el ángulo resultante de restar al cenit (90°) la altura solar.

El fabricante de los módulos pedirá de mínimo una medida de 1.5 AM para el mejor aprovechamiento de los módulos Fotovoltaicos el cual se conseguirá con una altura del sol de 42° , la cual podremos obtener fácilmente durante un horario de 9:00 am hasta las 3:00 pm, siendo las 12:00 pm cuando tengamos una medida de 1AM que será cuando la radiación tendrá el menor recorrido del sol a la superficie.

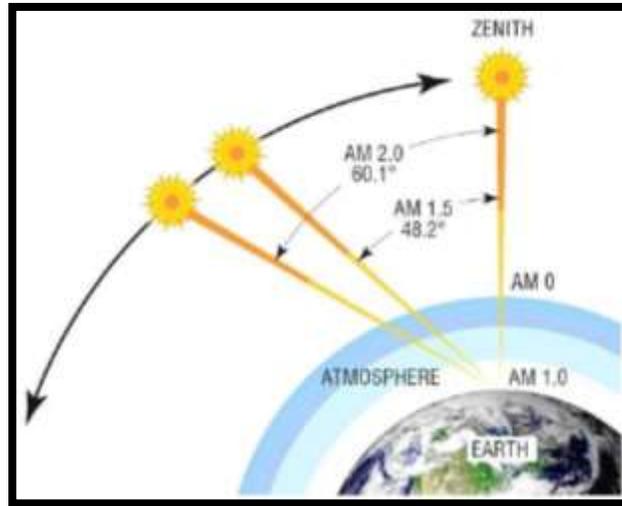


Figura 6 Trayecto De La Luz Solar Por La Masa Del Aire
(Baron, 2019)

1.1.6.4 Horario solar.

El Horario solar establece las horas del día en las que podremos obtener las condiciones necesarias para obtener el mejor aprovechamiento de nuestros módulos y por ende la mayor cantidad de energía de los mismos.

Regularmente este horario de máximo aprovechamiento se da a partir de las 9:00am cuando la altura del sol y la irradiancia se encuentran disponibles para que el módulo trabaje en un buen ritmo, llegando hasta las 12:00pm cuando se tendrá el máximo aprovechamiento de nuestro modulo y decayendo lentamente hasta las 3:00pm cuando termina el horario de máximo aprovechamiento de nuestro modulo formando una campana de Gauss la cual nos muestra la energía aprovechada en este horario.(Gerardo Cruz Peralta, 2016)

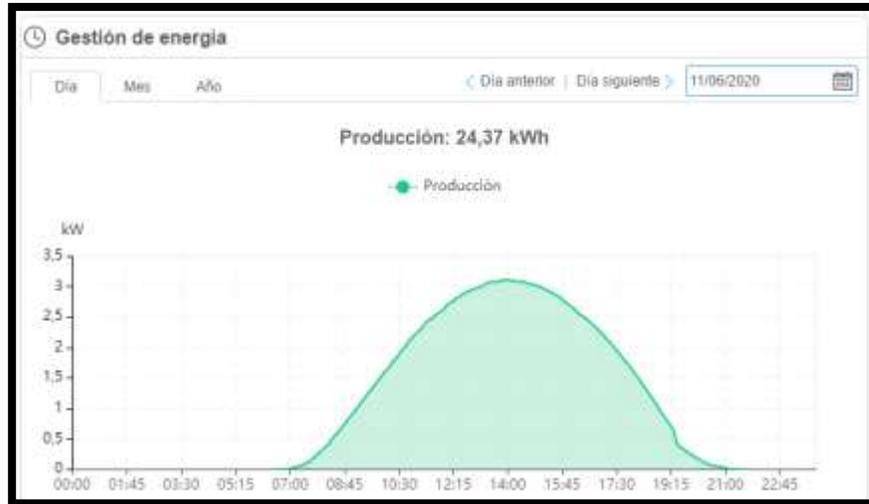


Figura 7 Hora solar pico
(Inna Samsón, 2019)

1.1.7 Tipos de Radiación.

La Radiación se divide en 4 tipos, según esta llegue desde la atmosfera a la superficie de la tierra los cuales generan una cantidad de radiación distinta debido a su recorrido hasta la superficie terrestre.(José Alfonso Alonso Lorenzo, n.d.)

1.1.7.1 Difusa

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

1.1.7.2 Directa.

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

1.1.7.3 Albedo

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

1.1.7.4 Radiación Global

La radiación global es toda la radiación solar que llega a la tierra y que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa. El aporte de cada componente a la radiación global, varía con la altura del Sol, la transparencia de la atmósfera y la nubosidad.

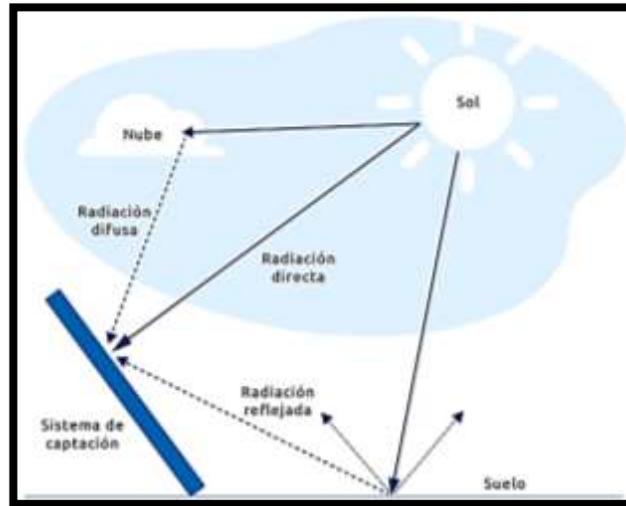


Figura 8 Radiación Global

(Selectra, 2021)

1.2 Aprovechamiento de la radiación.

Para poder aprovechar la radiación solar de manera eficiente debemos saber que esta siempre sufrirá alteraciones conforme se va desplazando por la superficie, esto gracias a los factores anteriormente comentados incluyendo la travesía de la tierra al sol, esto se debe a que la órbita de la tierra se encuentra en una órbita elíptica y con esto en los meses de invierno la radiación que llega a la tierra es menor en estos meses, en comparación con los meses de verano porque en los meses de invierno es cuando el planeta tierra se aleja más al sol.

1.2.1 Posicionamiento del sol.

Esto nos indicara que durante el paso de los meses se aprovecha de mejor manera la producción de energía eléctrica por medio de los módulos fotovoltaicos. Por lo mismo es muy importante colocar los módulos fotovoltaicos con una buena inclinación y distancia para evitar el sombreado de estos durante las horas de máxima radiación y poder aprovechar de forma eficiente la radiación.

Sin embargo, no siempre vas a poder aprovechar la máxima energía en todo el año, porque siempre habrá variaciones a menos que sea un modelo donde la inclinación y orientación pueda cambiarse por lo mismo los módulos con estructuras fijas debe de colocarse de manera estratégica para poder aprovechar la mayor cantidad de energía durante todo el año.

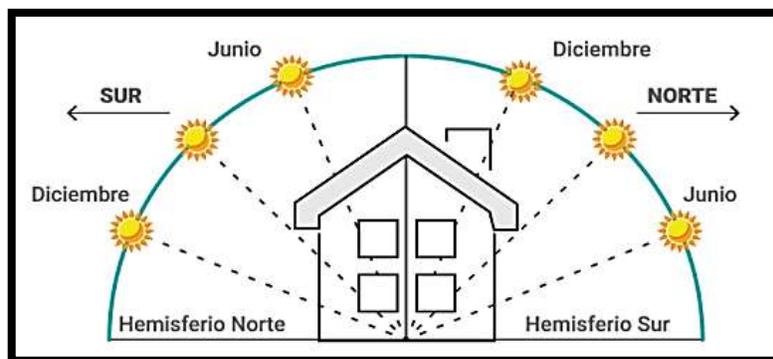


Figura 9 Posicionamiento del sol
(Antony Cordova, 2020)

1.2.2 Inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Generalmente la mejor inclinación que puede ofrecer un tejado para la instalación de paneles solares está entre los 30-40 grados, si bien otros niveles de inclinación pueden también generar energía de forma efectiva, como se ha visto en el caso de la orientación Este-Oeste. Los paneles orientados al ecuador podrían captar radiación solar con un buen rendimiento, incluso estando colocados de forma completamente horizontal. El único inconveniente en este caso es si la inclinación es menor a 10 grados debido a que los paneles no lo tendrán fácil para librarse de suciedad de forma natural (hojas, polvo, etc.) con lo que perderán eficiencia. La solución a este problema es tan simple como limpiar manualmente los paneles cada que sea necesario con agua y de ser requerido con alcohol.(Moro Vallina, 2018)

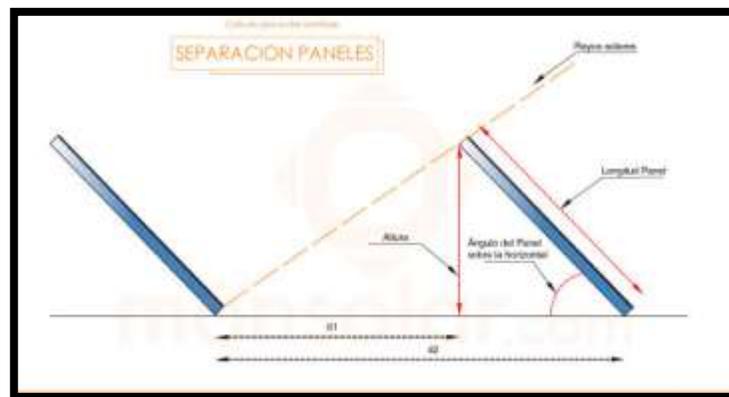


Figura 10 Distancia entre los módulos
(Acosta et al., 2018)/

1.2.3 Orientación de los módulos fotovoltaicos.

La cantidad de radiación que captan los módulos depende de la orientación e inclinación esta debe ser hacia el sur geográfico o magnético, aunque lo apropiado es el sur geográfico y se puede hacer con una brújula (sur magnético).

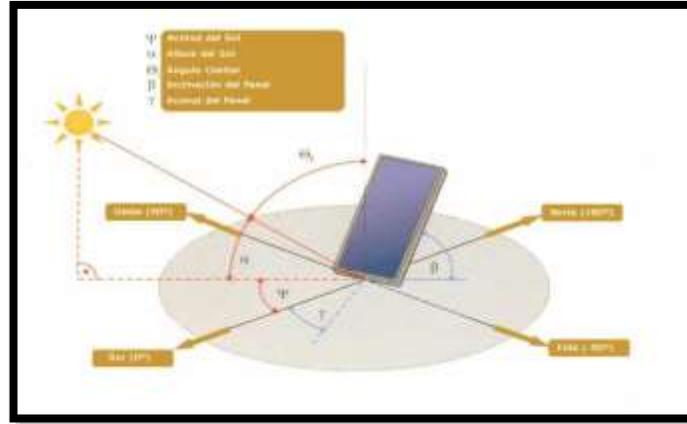


Figura 11 Posicionamiento ideal del módulo fotovoltaico
(HyperPhysics, 2009)

1.2.4 Hora solar pico.

La Hora Solar Pico, es frecuentemente utilizada para realizar cálculos fotovoltaicos. De forma sencilla decimos que la Hora Solar Pico (HSP) es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie y esta energía no es la misma dependiendo de la localización (cuanto más cerca del ecuador mayor será) y por su época del año. No hay el mismo sol en un día de invierno que de verano. (valencia Edgar, 2019)

1.3 Efecto Fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico es el efecto fotoeléctrico caracterizado por la producción de una corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente que están en contacto y expuestas a la luz o, en general, a una radiación electromagnética. El efecto fotovoltaico consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de las células fotovoltaicas, se utiliza en la energía. Concretamente en las células fotovoltaicas de los paneles solares. (Moro Vallina, 2018)

Los materiales semiconductores (como el silicio) tienen la particularidad de presentar un comportamiento diferente ante la electricidad. El comportamiento de los semiconductores depende de si una fuente energética externa los excita o no. Esta fuente energética sería la radiación solar.

El efecto fotovoltaico se inicia en el momento en el que un fotón impacta con un electrón de la última órbita de un átomo de silicio. Éste último electrón se llama electrón de valencia. Recibe la energía con la que viajaba el fotón, el fotón no es otra cosa que una partícula de luz radiante.

Si la energía que adquiere el electrón supera la fuerza de atracción del núcleo (energía de valencia), este sale de su órbita y queda libre del átomo y por tanto puede viajar a través del material. En este momento, diríamos que el silicio se ha hecho conductor (banda de conducción). Para hacer esto, hace falta que la fuerza de impacto de un fotón sea, como mínimo, de 1,2 V.

No todos los fotones alcanzan el objetivo de separar electrones. Esto se debe a que atravesar el material implica siempre una cierta pérdida energética. Esta pérdida implica que en el momento de la colisión algunos fotones ya han perdido demasiada energía para desplazar un electrón. Estas pérdidas por no-absorción sólo dependen de las propiedades del material y son inevitables.

Asimismo, hay un porcentaje de fotones que llegan a atravesar la lámina del semiconductor sin toparse con ningún electrón y de otros que iluminan la superficie del material y son reflejados (pérdidas por reflexión). Estas pérdidas se pueden reducir a través de tratamientos anti reflejos de la superficie de la célula fotovoltaica, en estos casos no se produciría el efecto fotovoltaico.

Sólo se consigue la generación de un par electrón-hueco por cada fotón con energía cinética superior a la mínima energía (gap) que logre penetrar en el material y tope con un electrón de valencia.

Los módulos Están formados por una variedad de celdas que están relacionadas entre sí, interconectadas en serie para generar un mayor voltaje; cuentan con una vida útil de 25 años y están contruidos para soportar cualquier tipo de condiciones como las que se le dan al estar expuestos al aire libre y formar parte del sitio donde se encuentren.

1.3.1 Elemento base.

La base de las celdas fabricadas hoy en día es el elemento llamado silicio el cual es un componente fundamental para la creación de celdas solares, también existen otros elementos como el telurio de cadmio sin embargo las obleas de silicio son abundantes en el mercado debido a su gran eficiencia por encima del telurio de cadmio.

El silicio es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Es un metaloide con marcado lustre metálico y sumamente quebradizo. Por lo regular, es tetravalente en sus compuestos, aunque algunas veces es divalente, y es netamente electropositivo en su comportamiento químico.

Las células fotovoltaicas para la conversión directa de energía solar en eléctrica utilizan obleas cortadas de cristales simples de silicio de grado electrónico de distintas purzas según sea su calidad o su proceso de fabricación.

1.3.2 Estructura atómica del silicio.

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (25.7 % en peso) después del oxígeno.(Moro Vallina, 2018)

Este se presenta en forma amorfa y cristalizada, el primero es un polvo parduzco, más activo que la variante cristalina, que se presenta en octaedros de color azul grisáceo y brillo metálico.(Silicio., n.d.)

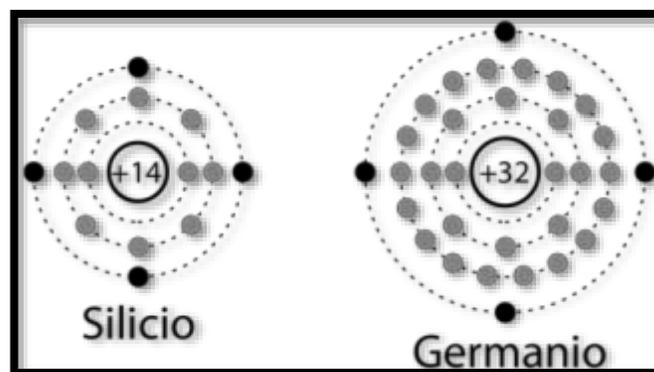


Figura 12 Estructura atómica del silicio
(HyperPhysics, 2009)

Es extraído de la arena y se requiere de un proceso para conseguir su obtención para la fabricación de obleas fotovoltaicas.

El silicio puro cuenta con cuatro electrones de valencia que comparte con los átomos vecinos al cual se le suele añadir impurezas con más o menos electrones de valencia como lo son el fósforo y el boro y así modificando sus propiedades conductoras.

El fósforo al contar con cinco electrones de valencia permanece débilmente ligado al átomo de silicio lo cual aumenta la conductividad del silicio al tener una banda de conducción más fácil gracias al fósforo todo esto a través de un dopado que se le realiza al silicio con el fósforo creando el silicio tipo-n (tipo negativo) esto debido al aumento de electrones o cargas negativas libres.

En el caso del Boro este solo cuenta con 3 electrones de valencia y esto al juntarse con el silicio crea un hueco por la falta de un electrón en la red del silicio. Como los electrones serán capaces de moverse de un hueco a otro, la conductividad del material se ve incrementada con este dopaje el cual recibe el nombre de Silicio Tipo-P (tipo positivo).

A través de este fenómeno las obleas de silicio dopadas con boro de un lado y fósforo del otro recolectan la energía procedente del sol y la transforman en energía eléctrica otra vez de un fenómeno llamado fotoeléctrico en el cual los fotones son excitados por la radiación solar, esta cuando golpea un fotón con una fuerza capaz de separar los componentes del par liberando ambas cargas y generando una corriente eléctrica cuando hay una carga externa conectada

El principal componente de una celda son los semiconductores los cuales regularmente suelen ser silicio dopado de boro (tipo-n) y fósforo (tipo-p). Estos suelen ser usados gracias a sus propiedades ventajosas frente a otros materiales que al momento de doparlos crean una inestabilidad eléctrica generando que la última capa esté siempre buscando llenarse. Otra de sus ventajas es ser un elemento muy abundante en la corteza terrestre.

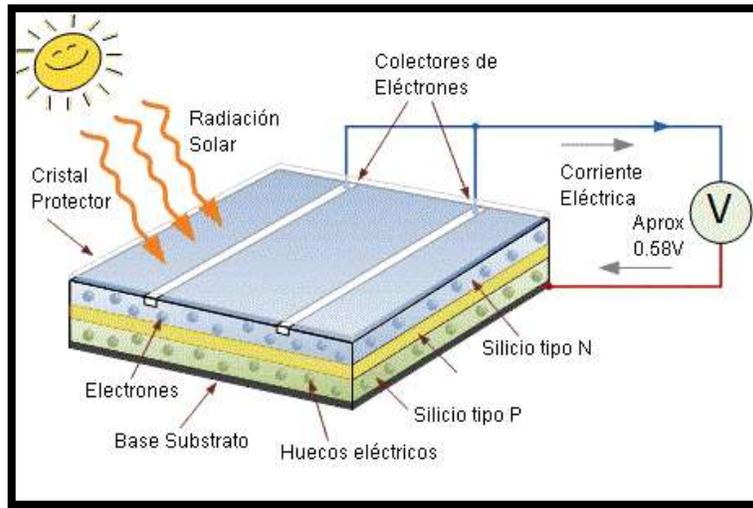


Figura 13 Posicionamiento de electrones en una celda fotovoltaica

(Megas, 2017)

Capítulo 2

2. Celdas y módulos Fotovoltaicos.

2.1 Composición de una celda fotovoltaica.

El principal componente de una celda son los semiconductores los cuales regularmente suelen ser silicio dopado de boro (tipo-n) y fosforo (tipo-p). El funcionamiento es más sencillo de lo que parece, únicamente la luz solar tiene que incidir sobre la celda solar y una porción de ella es absorbida por el material semiconductor usado para su fabricación, en este caso el silicio.

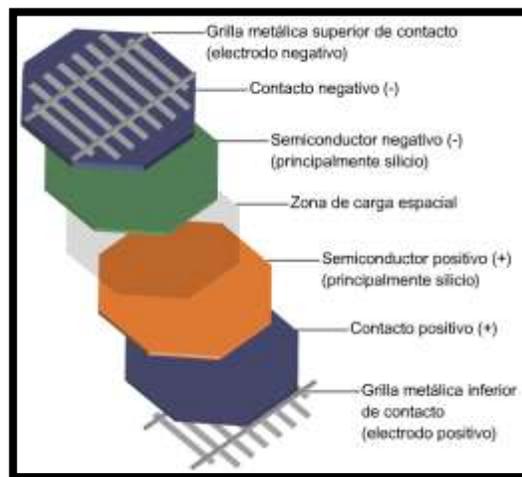


Figura 14 La célula fotovoltaica
(Harol Ortiz, 2016)

2.2 Funcionamiento de una celda fotovoltaica.

El funcionamiento es más sencillo de lo que parece, únicamente la luz solar tiene que incidir sobre la celda solar y una porción de ella es absorbida por el material semiconductor usado para su fabricación en este caso el silicio. Cada fotón genera una excitación en los electrones sacándolos de su lugar y obligándolos a moverse generando en el semiconductor lo que se conoce como par electrón-hueco dadas las propiedades del semiconductor cada uno se dirige a una parte de la célula, la cual cuando es conectada a través del circuito externo se generan la electricidad.

2.3 Tipos de módulos fotovoltaicos.

Existen distintos tipos de módulos con distintas celdas en el mundo gracias a los avances en las tecnologías fotovoltaicas sin embargo la gran mayoría comparten un material en común el cual es el silicio siendo el 90% de los módulos fotovoltaicos los cuales están contruidos con silicio.(Moro Vallina, 2018)

El silicio se obtiene a través de pasar la arena por un procedimiento en el cual obtendremos un lingote para posteriormente ser cortado en delgadas obleas que se unen para formar los módulos fotovoltaicos siendo así el silicio un material sumamente importante en la fabricación de módulos fotovoltaicos.

La principal diferencia entre las celdas fotovoltaicas es la pureza del silicio que se utiliza entre más puro sea mejor alineadas están las moléculas y estas a su vez mejor convierten la energía solar en electricidad.

Esto es debido a que las celdas de los módulos policristalinos y monocristalinos pasan por procesos distintos en la elaboración de sus lingotes, teniendo mayores procesos para eliminar las impurezas y por ende los módulos que usen celdas monocristalinas contarán con una mayor calidad y duración de vida.

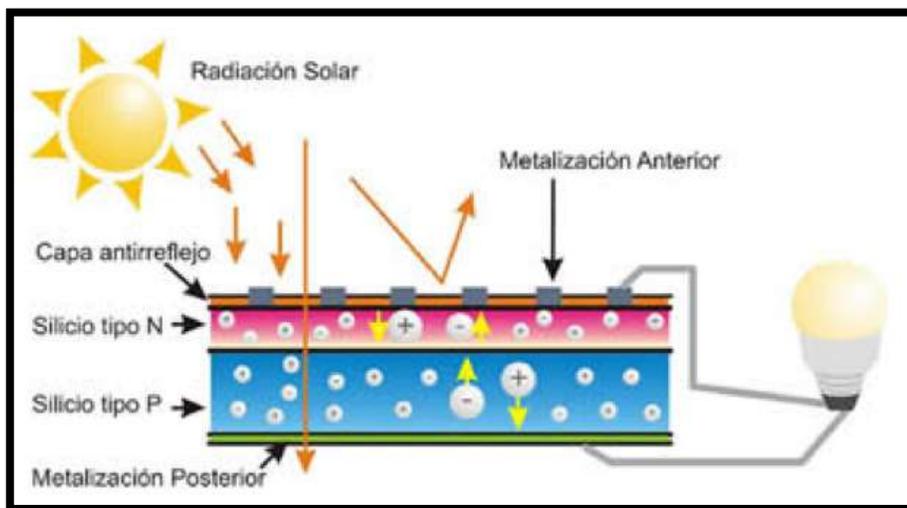


Figura15 Proceso eléctrico de una celda fotovoltaica

(Cruz Luis, 2017)

2.3.1 Primera generación.

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

El alto precio y fragilidad de las placas fotovoltaicas actuales han llevado a los investigadores a probar nuevos materiales y sistemas. Cuando se expone esta unión P-N a la radiación solar, los fotones de la luz transmiten su energía a los electrones. Con este aporte rompen la barrera de potencial y salen del semiconductor por un circuito exterior de manera que se produce corriente eléctrica.

2.3.1.1 Paneles policristalinos

Son más económicos, pero en consecuencia menos eficientes, su mayor ventaja respecto a los paneles monocristalinos es que el proceso de producción es de menor coste sin embargo esto conlleva un alto costo energético debido a la gran cantidad de módulos que se necesitaran para poder alcanzar las necesidades de una instalación eléctrica por su bajo rendimiento, funcionando a un máximo de 16% sin contar que su exposición a grandes temperaturas baja su eficiencia siendo menor. (SotySolar, 2020)

2.3.1.2 Paneles Solares Monocristalinos

Estas celdas son de color negro y bordes redondeados, destacan por estar construidas con silicio de muy elevada pureza, siendo esta es la razón por la que este tipo de celdas son más eficientes alcanzando un 20%, siendo así apropiadas por su alto rendimiento en zonas donde la exposición solar es elevada y contando con una vida útil de alrededor de 25 años, sin embargo, según estudios su capacidad de funcionar puede extenderse hasta los 50 años. (Autosolar, 2020)

Como punto negativo tenemos los altos precios de células monocristalinas que son mucho mayores que las policristalinas.

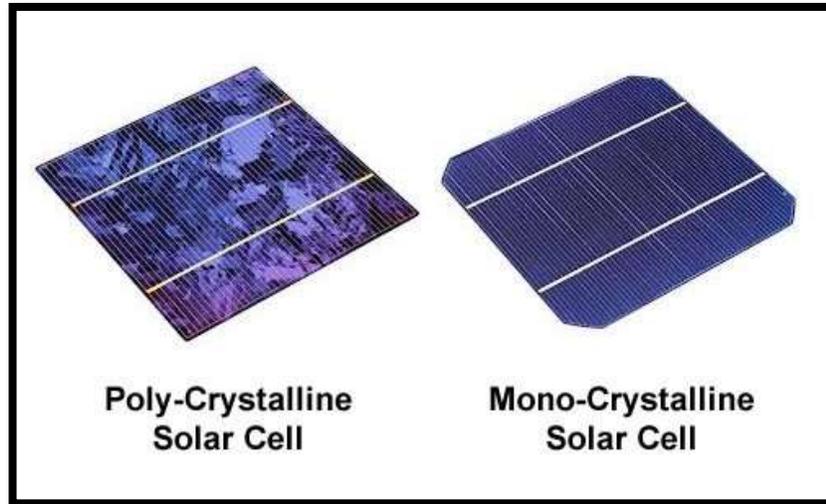


Figura 16 Diferencia de policristalino y monocristalino
(Jinhua Sunmaster Lighting Co. Ltd, 2019)

2.3.2 Segunda Generación

Para la segunda generación de celdas solares también se usan obleas de silicio, pero su funcionamiento está basado en los depósitos epitaxiales. Es decir, una de las caras de la oblea de silicio contiene una capa delgada de silicio con propiedades semiconductoras. Fabricar una celda solar de segunda generación resulta más costoso debido a los materiales utilizados para hacer la película semiconductor. Las aplicaciones de la segunda generación son más especializadas e incluso son empleadas en el espacio exterior.

2.3.3 Tercera Generación

En la fabricación de celdas de tercera generación se emplean dispositivos semiconductores, nanotubos de carbono, nano cristales, polímeros, tintas sensibilizadas y células foto electroquímicas. Estas celdas tienen aplicaciones tanto terrestres como espaciales y por el tipo de materiales que implica su fabricación son bastante costosas. La cuarta generación de células solares es de tipo híbrido y para mejorar el rendimiento de los sistemas en los que se utilicen se fabrica con materiales orgánicos en combinación con inorgánicos.

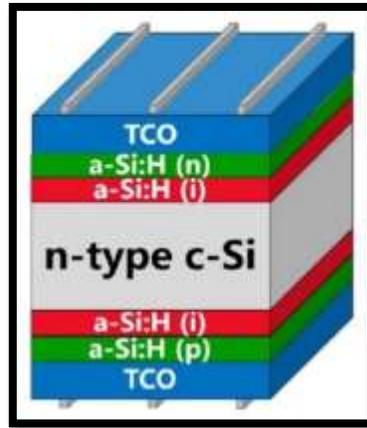


Figura17 Composición de la tecnología HJT
(Thesolarnerd, 2020)

2.4 Estructura de un módulo fotovoltaico

Hoy en día los paneles solares están formados con la siguiente estructura:

- Células fotovoltaicas
- Cubierta frontal
- encapsulado EVA
- Marco de apoyo
- Protección posterior (Tedlar)
- Caja de diodos

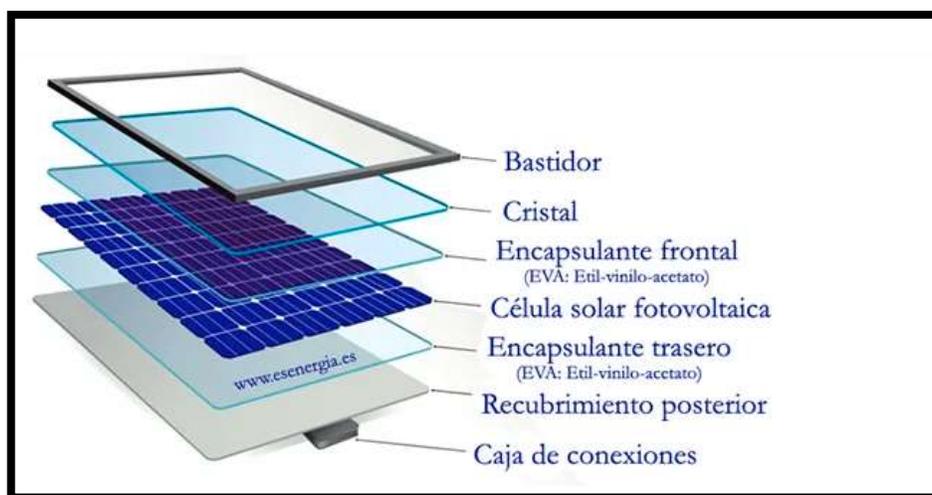


Figura 18 Composición de un módulo
(Ruiz Alvaro, 2022)

2.4.1. Células fotovoltaicas

Pequeños recuadros de silicio dopados de boro y fosforo estos son la parte más importante de los módulos fotovoltaicos encargadas del proceso de transformación de la radiación solar en energía eléctrica. Son creadas mediante un encapsulado de etileno vinil y acetato (EVA) con vidrio reforzado y algunas capas de metal de plástico que a su vez se refuerza creando un marco exterior con perfiles metálicos de aluminio.

2.4.2 Cubierta frontal

Tiene la función principal de proteger el módulo ya que constantemente sufre los ataques de cambios atmosféricos.

Se utiliza vidrio templado ya que garantiza una buena protección y además es un gran transmisor de radiación solar.

2.4.3 Encapsulado EVA

Es el encargado de la protección de las células solares y sus contactos formado en base de etileno vinil y acetato.

2.4.4 Marco de apoyo

Es de mucha importancia que los paneles solares se construyan con materiales resistentes por su alta peligrosidad ya que están expuestos a climas atmosféricos fuertes. El marco de apoyo normalmente es construido con materiales de aluminio, aunque también pueden usarse otros materiales distintos; es la parte más robusta que conforma el conjunto.

2.4.5 Protección posterior

Su misión consiste en proteger al módulo fotovoltaico de climas atmosféricos formando una barrera fuerte e inquebrantable contra la humedad que generan dichos climas.

2.4.6 Caja de diodos

Todos los paneles cuentan con su caja de diodos la cual ayuda a evitar los sobrecalentamientos en una celda, se encuentra en la parte posterior del módulo fotovoltaico y cuenta con dos cables fotovoltaicos de los cuales sale la corriente positiva y negativa en conjunto de un conector.

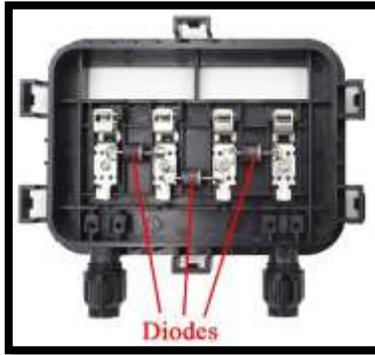


Figura 19 Diodo de derivación de la caja de conexiones fotovoltaicas para la protección del panel solar (alternative-energy-tutorials.com, 2021)

2.5 Funcionamiento de un módulo fotovoltaico

El funcionamiento de los módulos se da a partir de que los rayos del sol toquen las celdas de silicio, en ese momento la energía comienza a fluir por las celdas debido a la reacción con la radiación solar pero no solo eso ayuda a el funcionamiento de un módulo.

Los módulos están constituidos por 60, 72 o 90 celdas las cuales están conectadas en serie paralelo por dentro del módulo, esto con la finalidad de aumentar el voltaje, la corriente y la potencia inicial de las obleas; esto se demuestra a través de las magnitudes eléctricas las cuales nos indican que en un circuito en serie el voltaje aumentara mientras que la corriente se mantendrá, mientras que en el caso de un circuito en paralelo será todo lo contrario, el voltaje se mantendrá mientras que la corriente se elevara. En ambos casos la potencia se sumará ya sea un circuito en serie o en paralelo.

Esto en un módulo fotovoltaico suele ser un inconveniente al momento en que una sombra se aparece en el módulo, debido a que los módulos solían estar únicamente conectados en serie por lo cual al sombrear una celda este debería perder toda la potencia, sin embargo, gracias a la caja de diodos que está integrada esto no suele suceder y solo pierde un porcentaje de la potencia total.

A pesar de eso el módulo puede llegar a perder toda la potencia si se llega a sombrear partes específicas del mismo por lo cual los ingenieros han elaborado un conjunto de tecnologías las cuales aumentan la eficacia de los módulos, así como resuelven el problema por el sombreado de los módulos que sucede en la primera generación.

2.6 Eficiencia modular

La eficiencia de la celda está determinada por la estructura de la celda y el material utilizado, que generalmente es de tipo P o de tipo N. La eficiencia de la celda se calcula por lo que se conoce como Fill Factor (FF), que es la eficiencia de conversión máxima de una celda fotovoltaica a la tensión y la corriente óptimas.

El diseño de la celda juega un papel importante en la eficiencia, como el tipo de celda, el tamaño, la cantidad de Bus Bar entre otros. Las celdas IBC de mayor costo son generalmente las más eficientes (20-22%) ya que están construidas con silicio de tipo N de alta pureza y no sufren pérdidas por sombreado de bus bar, sin embargo, las celdas mono PERC recientes también han alcanzado niveles de eficiencia superiores al 20%.(Schmidt, 2020)

2.6.1 Eficiencia del panel solar

La eficiencia del panel está determinada por el tamaño total del panel, el tamaño individual de la celda y su diseño. También influye el número y tipo de celdas utilizadas, el diseño del bus bar, la distancia entre las celdas y la interconexión de ellas, Incluso aunque no lo parezca, el color de la lámina posterior protectora del panel puede afectar la eficiencia, ya que una lámina posterior negra absorbe más calor, lo que reduce la eficiencia de la celda.

Los paneles con células IBC son generalmente los más eficientes, seguidos de las células monocristalinas tipo half-cell y de múltiples bus bar, las células mono shingled y finalmente las células estándar mono PERC de 60 células con 4 a 5 bus bar. Los paneles policristalinos comunes de 60 celdas son generalmente los paneles menos eficientes.

2.6.2 Tecnologías en los módulos

La principal diferencia entre las celdas fotovoltaicas es la pureza del silicio que se utiliza, entre más puro sea, mejor alineadas están las moléculas y estas a su vez mejor convierten la energía solar en electricidad.

Esto es debido a que las celdas de los módulos policristalinos y monocristalinos pasan por procesos distintos en la elaboración de sus lingotes, teniendo mayores procesos para eliminar las impurezas los monocristalinos y por ende los módulos que usen celdas monocristalinas contarán con una mayor calidad y duración de vida.

2.6.3 Diferencia entre tecnologías

Durante el paso del tiempo se ha querido aumentar la eficiencia de los módulos fotovoltaico pasando desde un histórico 10% hasta un 16% hasta llegar al 21% en el cual actualmente se encuentran la mayoría de los módulos, esto se debe gracias a la implementación de distintas tecnologías en los módulos los cuales además de resolver el problema del sombreado en los módulos de primera generación también nos generan mayor cantidad de eficiencia de energía en los módulos.

2.6.3.1 Tecnología PERC

La tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell) consiste en colocar una capa reflectante (Dielectric Layer) para aprovechar al máximo la radiación, dicho de otro modo, es el proceso que añade una capa adicional en la parte trasera del panel solar esta capa permite reflejar de nuevo hacia la célula parte de los fotones que la atraviesan, aumentando así la eficiencia total del panel ya sean policristalinos o monocristalinos, ayudando a captar más irradiación solar gracias a una lámina que hace que la luz solar sobrante rebote dentro de la célula y se pueda recuperar, a diferencia de las placas solares fotovoltaicas tradicionales no cuentan con esta y no aprovechan dicho sobrante.

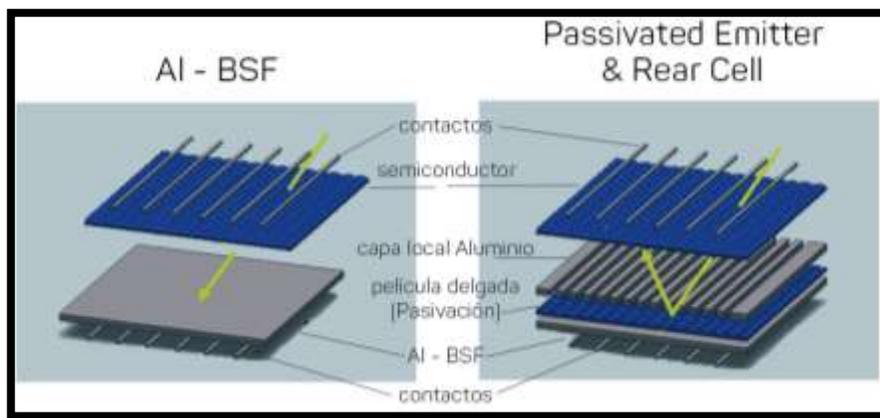


Figura 20 Celdas fotovoltaicas con tecnología PERC
(Tadeus Gallosa López, 2020)

2.6.3.2 Tecnología HALF CELL

Este añadido a los módulos consiste en una partición a nivel celular y modular esto debido a que las células solares son cortadas por la mitad, situando la caja de conexiones en el centro del panel solar dejando un corte en 2 mitades, con el 50% de capacidad cada una dividiendo el flujo de la corriente en dos partes unidas en serie y con esto reduciendo la resistencia interna de las placas generando menor pérdida de la corriente al ser transportada por las pistas conductoras que tienen los módulos asegurando una producción continua de las placas, a pesar de llegar a contener alguna parte sombreada lo cual también ayuda a no afectar completamente el módulo.

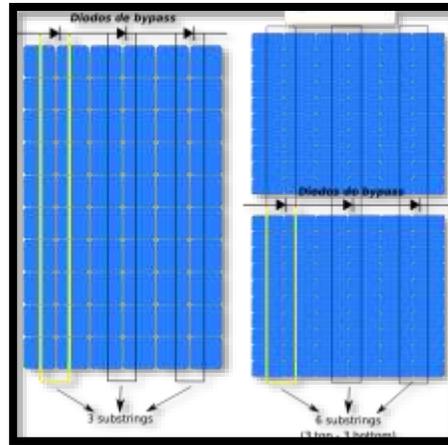


Figura 21 Módulos fotovoltaicos de célula partida
(Tadeus Gallosa López, 2020)

2.6.3.3 Tecnología SHINGLED

Esta tecnología nació en Corea del Sur y consiste en una estructura de electrodos dividida en cinco celdas mediante un rayado láser y las células se unen mediante un adhesivo conductor de la electricidad.

Los paneles solares shingled de alta potencia y alta densidad tienen un fuerte potencial en la fotovoltaica sobre cubierta. Normalmente tienen una estructura sin barras colectoras en la que solo una pequeña proporción de las células no están expuestas a la luz solar. Las células están unidas para formar una cadena de alta densidad y las tiras resultantes se conectan a través de un adhesivo conductor. El reducido número de barras colectoras reduce las pérdidas por sombras, al mismo tiempo los módulos shingled no requieren soldadura en cinta, lo que es una de las principales causas de tensión mecánica y microfisuras.

El número de barras colectoras optimizados para la división es de cinco células ofreciendo una eficiencia de conversión de energía del 17.346%. (Bellini, 2020)

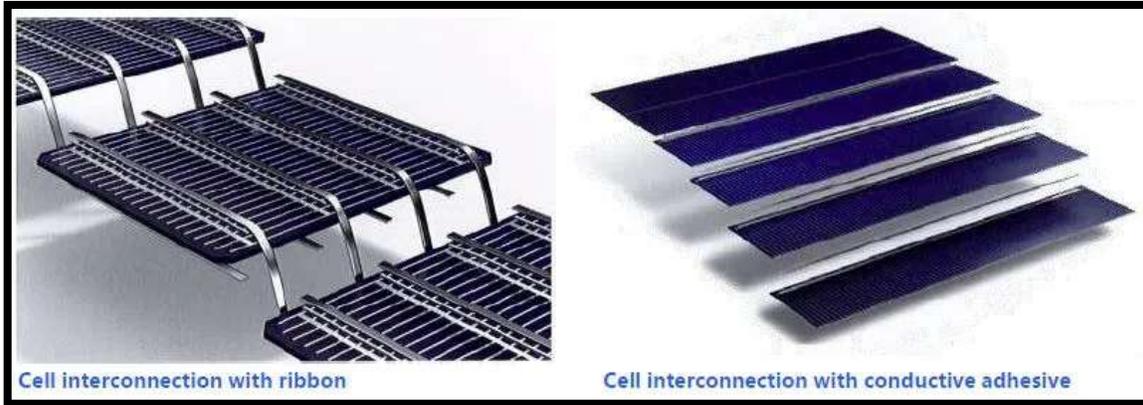


Figura 22 Soldadura sin costuras utilizada para paneles solares
(Soria Alberto, 2020)

2.6.3.4 Tecnología heterojunction HJT

La tecnología heterojunction (HJT) es de las tecnologías con mayor eficiencia la cual combina dos tecnologías diferentes en una sola célula: una célula de silicio cristalino comprimida entre dos capas de silicio amorfo, combinando así las ventajas de las células solares de silicio cristalino y las tecnologías de película delgada permitiendo a las células alcanzar mayores grados de eficiencia a un menor costo de producción.

Las principales ventajas de HJT incluyen mejores propiedades de absorción del espectro solar y por lo tanto, una mayor eficiencia en un espectro más amplio en comparación con la tecnología cristalina, menor número de pasos de fabricación, muy buen comportamiento térmico gracias a la contribución del silicio amorfo con un coeficiente bifacial superior al 90% y un riesgo mínimo de desarrollo de “Potential Induced Degradation” (PID). (Aguilar, 2020)

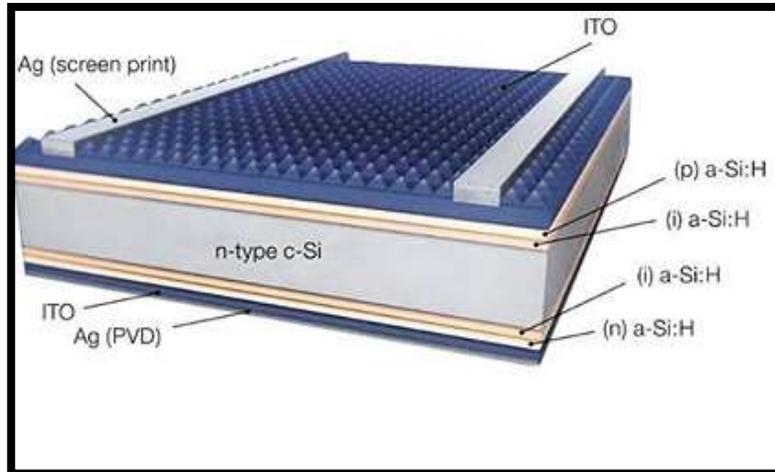


Figura 23 Tecnología HJT
(Gifford Jhonatan, 2017)

2.6.3.5 Tecnología MBB

La tecnología MBB (multi Bus Bar) suele ser compatibles con una gran parte de las tecnologías principales existentes mejorando la competitividad de los módulos de alta eficiencia, al ahorrar el consumo de material para reducir los costos y mejorar aún más la potencia y la confiabilidad del módulo.

Esta consiste en el aumento del número de bus bar (las conexiones que atraviesan las células solares) que puede acortar la distancia de conducción de la corriente en las conexiones, reduciendo las pérdidas de resistencia y mejorando la eficiencia de la célula y la potencia de salida de los paneles solares significativamente, así como también no son propensas a tener micro grietas y bus bar rotos, lo que dota de una mayor confiabilidad del producto. (Techno Sun, 2020)

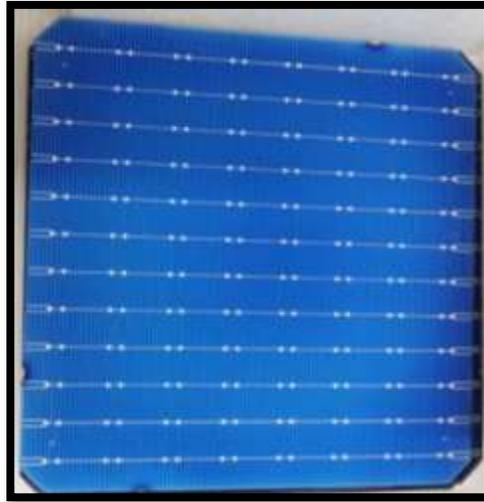


Figura 24 Tecnología MBB
(Made-in-China, 2019)

2.6.3.6 Tiling ribbon

Esta tecnología elimina el espacio que hay entre celdas aumentando significativamente la eficiencia del módulo. En comparación con 5 Bus Bar, el módulo de la serie Tiger utiliza una cinta circular, para lograr la reutilización de la absorción de luz y aumentar la generación de energía. La cinta circular tiene mejor flexibilidad, proceso de prensado y tiene una excelente confiabilidad absorbiendo de mejor forma la energía lo cual genera una menor cantidad de pérdidas por micro grietas. (Jinko Solar-, 2020)



Figura 25 Procesos Tiling ribbon
(Aleina, 2020)

2.6.3.7 Tecnología IBC

Las celdas IBC (contacto de la espalda interdigitada) consisten en una unión trasera con electrodos metálicos positivos y negativos colocados en forma de dedos bifurcados en la superficie retro iluminada de la celda, su unión P-N se encuentra en la parte posterior de la celda y la corriente pertenece al modelo de transmisión bidimensional.

Las ventajas de estas células son que no cuentan con un blindaje de línea, lo que permite maximizar los fotones incidentes en su superficie gracias a que elimina el sombreado que se genera por el electrodo de metal, esto teniendo los electrodos positivos y negativos están en la parte posterior así como a su vez la estructura de la transmisión de la superficie y la estructura de la superficie se puede optimizar para una tasa de recombinación de la superficie frontal inferior y la reflexión de la superficie, porque el lado frontal no necesita considerar los factores tales como el sombreado de la línea de compuerta y el contacto de metal.(DS New Energy, 2020)



Figura 26 Tecnología de células solares IBC
(instylesolar, 2020)

2.7 Producción de energía

La potencia de generación de un módulo solar se mide en watts (W) y la encontrarás especificada en el módulo que estés mirando para tu instalación.

Un antiguo módulo fotovoltaico típico puede proporcionar entre 250W y 300W de energía. Sin embargo, es cada vez más habitual ver módulos domésticos de potencia superior, como 500W y también algunos de menor capacidad (como pueden ser 400W).

Esto nos puede servir para saber fácilmente los kWh que produce un módulo fotovoltaico cada día, si tomamos uno típico de 300W, esto significa que por cada hora de sol nos va a generar esta potencia, si calculamos un día soleado de primavera, por ejemplo, en una zona con una HSP de 5, el cálculo sería:

$300W \times 5 \text{ horas de sol al día} = 1500Wh$ o lo que es lo mismo, 1,5 kWh al día.

Si suponemos que esas 5 horas son la media de sol anual, nos daría:

$1,5 \text{ kWh al día} \times 365 \text{ días del año} = 547 \text{ kWh al año}$ por módulo solar típico de 300W.

De esta manera, mirando el consumo de kWh que precisamos podemos dimensionar la instalación según nuestra necesidad y calcular cuántos módulos serán necesarios, sin embargo, estos cálculos revelan algo muy importante a tener en cuenta cuando queremos responder a cuántos kWh produce un módulo fotovoltaico.

Capítulo 3

3. Sistemas Fotovoltaicos.

3.1 Tipos de sistemas Fotovoltaicos.

Los sistemas de energía eléctrica fotovoltaicos se clasifican en tres tipos principales:

- Sistemas Interconectados a la Red Eléctrica
- Sistemas Autónomo
- Sistemas Hibrido Interconectados a la Red Eléctrica

3.1.1 Sistemas Interconectados a la Red Eléctrica

Los sistemas interconectados a la red eléctrica son los más económicos, sin embargo, forzosamente deben estar conectados a la red eléctrica nacional (CFE). Estos sistemas requieren muy bajo mantenimiento, en la mayoría de los casos, el mantenimiento requerido se limita a la limpieza de los paneles solares para eliminar la suciedad y el polvo debido a que este tipo de sistemas no cuentan con respaldos de energía como lo es un banco de baterías, más sin embargo, parte del mantenimiento extenso suele ser revisar los conectores y conductores de estos ya que puede que por causas ambientales o en su defecto causas por ser colocados en lugares transcurridos generas fallos como lo son las rupturas.

Un sistema típico de este tipo está compuesto de los paneles solares, inversor de corriente interactivo que funciona en paralelo con la red eléctrica, sistema de montaje, cable especial para sistemas fotovoltaicos, conectores y accesorios de conexión. Estos sistemas tienen una vida útil de por lo menos 25 años.(Autosolar, 2020)

Los sistemas interconectados a la red o sistemas GRID-TIE requieren necesariamente interconexión con la red eléctrica nacional para operar, sin embargo, una ventaja de estos sistemas es el de no requerir el uso de baterías (o acumuladores) para funcionar, lo cual los vuelve la alternativa más económica y con los requerimientos de mantenimiento más bajos de todos los sistemas. Estos sistemas únicamente operan

cuando la irradiación solar incide sobre los paneles fotovoltaicos con suficiente intensidad y que estos generen la energía eléctrica necesaria para arrancar el sistema. Es importante señalar que estos sistemas, por su diseño y características, no operan como fuentes de respaldo de energía por lo cual no pueden abastecer sus cargas cuando falla el suministro eléctrico en la red el cual puede causar intermitencia por factores de mantenimiento de la misma red eléctrica o en caso de tormentas eléctricas que dañen los transformadores de distribución.

Durante los periodos nocturnos y de baja recepción de irradiación solar (un día muy nublado, por ejemplo), la energía eléctrica es suministrada por CFE, lo cual garantiza el abastecimiento continuo de energía eléctrica.

Los sistemas de energía solar interconectados a la red eléctrica (GRID-TIE) son la mejor alternativa cuando se cuenta con el servicio de energía eléctrica de CFE como sucede en la mayoría de las ciudades de nuestro país. Ya que están regidos por normas claras y específicas para su interconexión, su mantenimiento y colocación de los sistemas fotovoltaicos.

Una de las mejores alternativas para la implementación de un sistema generador de energía eléctrica es el sistema interconectado a la red eléctrica ya que no solo es más económico y seguro si no tiene una normativa más estricta por ende la interconexión es más segura si se siguen los lineamientos conforme a su instalación y mantenimiento, tiene un respaldo normativo, de campo y de investigación más amplio ya que al ser el más solicitado por el mercado es el que tiene más registros de éxito y registros de fallas debido a su alta demanda, sus limitantes sobre el requerimiento de los componentes son una ventaja ya que al minimizar materiales que se requieren como son las baterías o el cableado suele ser menor el mantenimiento y la inversión puede ser remunerada en un menor tiempo.



Figura 27 Flujos de energías en sistema interconectado
(instylesolar, 2020)

Este sistema tiene como fallas principales las siguientes:

- **Fallas atmosféricas:** Estas son caídas por rayos que generan un campo electromagnético generando una tensión transitoria, esto se propagara en diferentes niveles de tensión, llegara a través de los conductores de baja tensión hacia el transformador y generara una sobretensión que afectara a todos los dispositivos del hogar.
- **Descarga electroestática:** Estas suelen ser descargas muy cortas de muy alta frecuencia, resultante de la descarga de cargas eléctricas acumuladas, genera electricidad estática y por ende sube la tensión.
- **Maniobra:** Estos se dan por maniobras de los instaladores las cuales generan una Alta frecuencia causadas por cambio en el estado de la red eléctrica (durante la operación de un interruptor)

Estas fallas se evitarán colocando las protecciones contra sobrecorriente ya sea los varistores o los supresores de pico estos protegen circuitos contra variaciones de tensión al incorporarlos en el circuito de forma que cuando el varistor se active,

la corriente no pase por componentes sensibles y dañe su correcto funcionamiento.

3.1.2 . Sistemas Autónomo

Los sistemas autónomos o de isla son una buena opción cuando CFE no provee servicio en la zona, sin embargo, al tener más partes que los sistemas interconectados, estos requieren mayor inversión y mantenimiento que los anteriores, así como una buena instalación y conexión a su sistema de respaldo de baterías.

Los sistemas autónomos son requeridos cuando los servicios de red eléctrica no son brindados, este tipo de sistema es más costoso debido a que necesita un sistema de almacenamiento energético el cual aumenta la inversión y con una mala aplicación de las baterías puede causar problemas como el ensanchamiento de estas y explotar.

Estos sistemas cuentan con paneles solares, inversores que trabajan en isla (desconectados de CFE), baterías para almacenar la energía, controladores de carga, sistemas de montaje cable especial para sistemas fotovoltaicos, conectores y accesorios de conexión. Estos sistemas tienen una vida útil que oscila entre 15 y 20 años dependiendo del cuidado que se les dé a las baterías, su conexión entre las baterías y el mantenimiento

A diferencia de los sistemas interconectados a la red, los sistemas en isla (OFF-GRID) requieren del uso de sistemas de almacenamiento de energía para operar (baterías) el cual si no tienen un debido mantenimiento puede ser perjudicial para el sistema. Estos sistemas son más caros y requieren de mayor atención por parte del usuario para prolongar su vida útil, la cual ronda entre los 15 y 20 años dependiendo de los cuidados y las precauciones que se tengan al utilizarlo a lo largo de su vida. Estos sistemas son viables de instalar cuando no existe suministro de electricidad en la localidad.

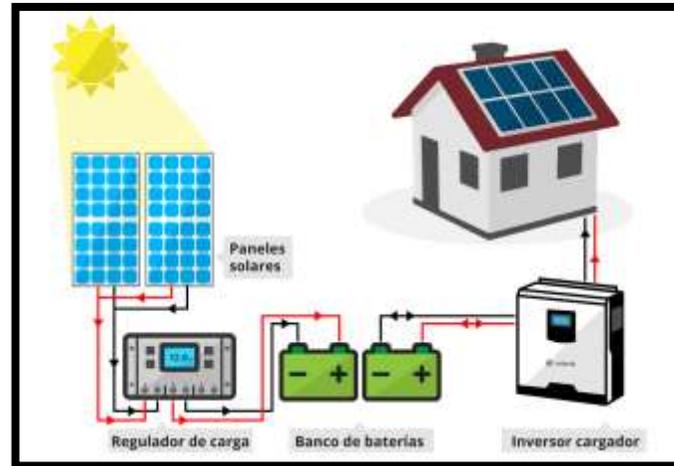


Figura 28 sistema solar OFF GRID

(Solartik, 2020)

Las principales fallas de los sistemas autónomos se crean por el poco o nulo mantenimiento de las baterías. En muchos casos las baterías utilizadas no son correctas tales como:

Baterías de monoblock: Basadas en la tecnología tradicional de plomo-ácido, son utilizadas para pequeñas instalaciones solares fotovoltaicas. El mantenimiento de las baterías monoblock es mínimo, sus principales ventajas es su buena relación de calidad-precio y que se fabrican de forma muy extensa. Lamentablemente no todo son ventajas y son equipos que tienen un riesgo de contaminación medioambiental alto si no son gestionados correctamente al final de su vida útil, su peso es considerable por cantidad de energía almacenada y el riesgo de emisiones de gases.

Baterías Estacionarias: Baterías de larga duración y diseñadas para uso diario. Actualmente muchos de los modelos disponibles en el mercado pueden superar los 20 años de vida útil. Sus características técnicas hacen que se adapte muy bien al funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica y sus consumos porque sus ciclos diarios son regulares y estables a lo largo del tiempo.

Habitualmente, las baterías estacionarias pueden ofrecer alrededor de 1500 ciclos con una profundidad de descarga del 60%. Las baterías estacionarias son significativamente más caras que las Monoblock, pero también con una vida útil mucho más larga.

Baterías de Litio: Son equipos que destacan por su pequeño tamaño, alta durabilidad y sin necesidad de mantenimiento. Ofrecen excelentes rendimientos porque permiten hasta 6000 ciclos con profundidades de descarga del 80% mejorando muchísimo la durabilidad del equipo respecto las otras tecnologías disponibles. Es habitual que en cualquier estudio técnico-económico realizado para un proyecto concreto se concluya que la mayor durabilidad de las baterías de litio compense sobradamente su sobre coste económico.

La solución a estos fallos es tener en cuenta que cualquier instalación solar debe ser diseñada y dimensionada por un equipo técnico experimentado que le permita asegurar que se cumplen todas las funcionalidades esperadas de la instalación maximizando la vida útil de los equipos.

3.1.3. Sistemas Híbridos Interconectados a la Red

Los sistemas híbridos son una combinación de los dos tipos anteriores, pueden funcionar tanto interconectados a CFE como en modo Isla. El tercer tipo de sistema es una combinación de los dos anteriores (de ahí su nombre), trata de sistemas interconectados a la red que cuentan además con un sistema de respaldo de energía con el fin de garantizar el suministro continuo del fluido eléctrico aún en caso de falla de la red. Estos sistemas, al ser más complejos, son los más costosos y el usuario en una aplicación en particular depende de otras variables diferentes a las puramente económicas también respecto a la interconexión a la red debido a que puede tener fallos si no son medidos o dimensionados correctamente.

Los sistemas híbridos interconectados a la red eléctrica son una opción rentable, siempre y cuando la red eléctrica pueda tener intermitencia en el suministro de electricidad el cual puede causar que se dañen las cargas que están instaladas en una residencia o así mismo este requiera de una mayor generación de energía y esta necesite un respaldo energético.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica constituyen una de las aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años tanto en tecnologías como en aplicaciones residenciales esto da paso a

una mayor inversión en investigación en esta área de mercado por parte de laboratorios certificadores como diseñadores de este tipo de sistemas y sus mecanismos de optimización y aprovechamiento de energía, así como su almacenamiento.

A raíz de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía en noviembre de 2008, la CFE permite la interconexión de Sistemas de Energía Renovable al Sistema Eléctrico Nacional. Para hacer uso de las ventajas que ofrecen estos sistemas, la CFE a través de un contrato de cogeneración para fuentes renovables de energía, permite la instalación tanto en pequeña escala (Potencia Max. Instalada \leq 30 kW) como en mediana escala (Potencia Max. Instalada $>$ 30 kW) para aplicaciones de autoabastecimiento de energía eléctrica en las instalaciones particulares de los usuarios. (de Diputados et al., 2008)

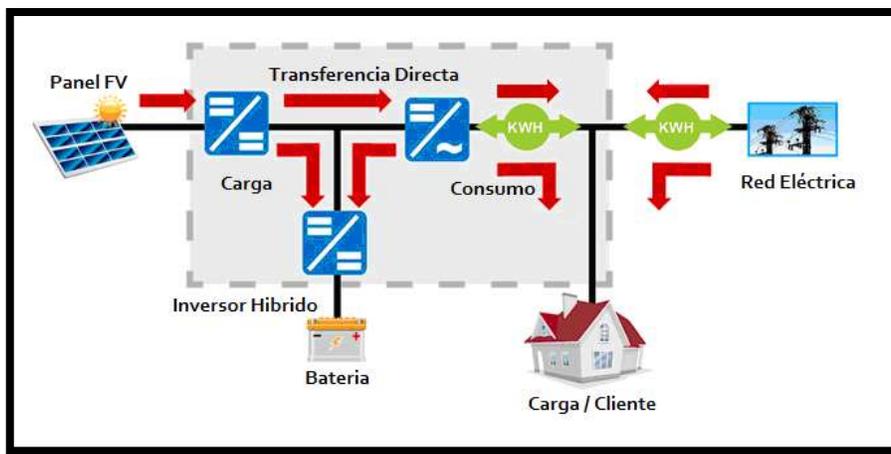


Figura 29 Sistemas Híbridos. Principio de funcionamiento

(Energías Inteligentes, 2015)

Tanto los sistemas híbridos como los interconectados a la red eléctrica llegar a tener fallas similares ya que este sistema híbrido cuenta con los dos métodos en común que son el banco de baterías y la interconexión con la red eléctrica.

3.2 Generación Distribuida

La generación distribuida representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada. Aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, en los inicios mismos de la generación eléctrica.

De hecho, la industria eléctrica se fundamentó en la generación en el sitio del consumo. Después, como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia el esquema de generación centralizada, precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor. Sin embargo, existían restricciones tecnológicas de los generadores eléctricos de corriente directa y su transporte máximo, por la baja tensión, que era de 30 a 57 kilómetros.



Figura 30 Generación distribuida y su función
(Moro Vallina, 2018)

3.3 Componentes de un sistema solar fotovoltaico interconectado

Un sistema fotovoltaico cuenta con distintos componentes los cuales en conjunto realizan la función de generar energía eléctrica para su consumo en una residencia o comercio, así como para su inyección a la red eléctrica nacional, esto mediante los siguientes componentes que lo conforma.

3.3.1 Módulos.

Estos son los encargados de la producción de energía solar fotovoltaica siendo un conjunto de celdas que generan una corriente directa a un voltaje determinado cuando son expuestos a la luz del sol, transformando la energía solar en energía eléctrica, esto

a través del efecto fotovoltaico.

3.3.1.1 Composición, eficiencia y vida útil

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas principalmente de silicio las cuales se encuentra conectadas interiormente entre sí a través de circuitos en serie.

Dependiendo de las tecnologías utilizadas en la composición de los módulos, la eficiencia puede aumentar drásticamente, teniendo una relación entre la potencia eléctrica de salida en las terminales y la potencia de la radiación solar que incide en la superficie del módulo. La vida media útil de un módulo fotovoltaico es de unos 25 años que puede llegar a crecer con un buen mantenimiento.

3.3.2. Estructura.

Las estructuras son piezas muy importantes a la hora de la fijación de los módulos permitiendo el buen funcionamiento del mismo evitando que estos no sean llevados por ráfagas de viento, teniendo a consideración aspectos como la inclinación y orientación, de acuerdo a las horas solar pico para lograr obtener un mayor rendimiento del panel solar. Al igual que otros problemas más técnicos como una mala conducción al colocar la puesta a tierra, o falta de una zona donde poder hacer una fijación de los módulos al techo por alguna cuestión; Una adecuada instalación permitirá disfrutar beneficios sin deteriorar el tiempo de vida de la instalación.

Para esto se tendrá que realizar una incursión en la zona donde podremos determinar el uso de la correcta estructura siendo muy importante tener en mente los diferentes tipos de superficies, ya sea un espacio plano o inclinado, así como considerar el tipo de terreno y las condiciones climáticas que rodearán a los paneles solares. Cada estructura cuenta con una especialización y se usa dependiendo del tipo de superficie teniendo los siguientes:

- Estructura de panel sobre suelo
- Estructura sobre mástil o poste
- Estructura sobre pared
- Paneles solares sobre tejado o loza
- Estructuras Individuales
- Estructuras de triángulo inclinado
- Estructuras coplanar
- Estructura elevada



Figura 31 Soporte inclinado del panel solar
(TeknoSolar, 2022a)

3.3.2.1 Estructura de panel sobre suelo

Este tipo de estructura de paneles solares se utiliza generalmente en sistemas donde se pretende colocar una gran cantidad de módulos fotovoltaicos. Una de sus principales ventajas es la facilidad de montaje. Para instalar esta base se deberá realizar un buen estudio de sitio, para que los módulos no queden expuestos a sombras ni se vean perjudicados por los vientos.

Uno de los problemas más comunes es su uso en áreas con muchas sombras de los árboles cercanos o edificios que merman la energía al generar sombra en el sistema solar fotovoltaico.

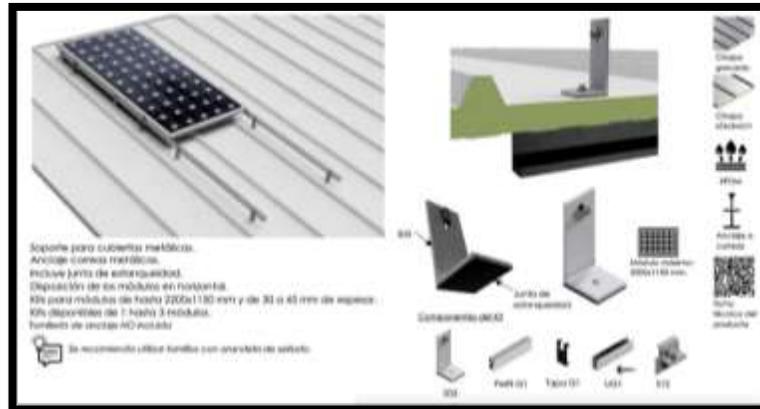


Figura 32 Estructura Soporte coplanar
 (TeknoSolar, 2022b)

3.3.3 . Inversor

Un inversor de corriente es un aparato electrónico con la función de cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario.

Los inversores de corriente también reciben el nombre de convertidores de corriente y onduladores de corriente.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular; Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario.

La forma de onda cuadrada generada por estos dispositivos tiene el problema de ser rica en armónicos superiores, mientras que la onda senoidal de la red eléctrica está carente de ella. Esto implica una menor eficiencia del equipo motorizado, mayor ruido, tanto acústico como eléctrico, y graves problemas de compatibilidad electromagnética.

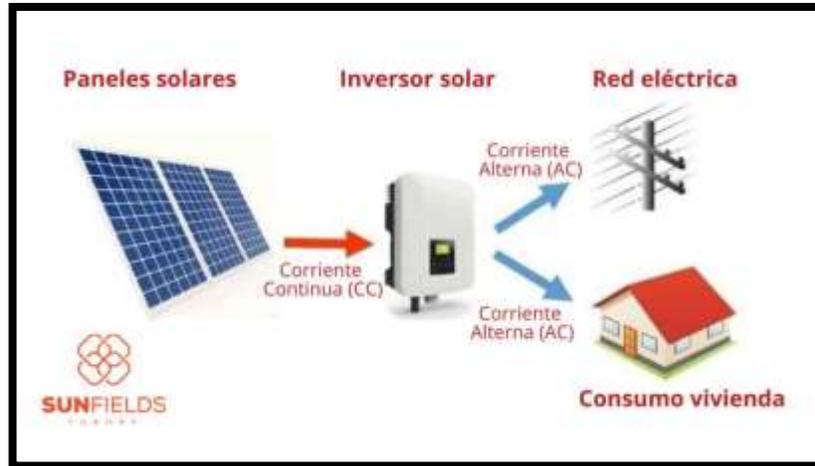


Figura 33 Funcionamiento de un inversor para paneles solares
(Lorenzo Jose, 2022)

3.3.3.1 Tipos de inversores

Los inversores utilizados comúnmente en residencias pueden clasificarse en dos tipos:

- inversores monofásicos
- inversores trifásicos.

3.3.3.1.1 Inversores monofásicos

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda senoidal.

Se puede variar la magnitud y frecuencia del voltaje de salida, sin tener en cuenta que el voltaje de entrada sea constante y que los interruptores no sean controlados en PWM (modulación de ancho de pulso).



Figura 34 Inversores monofásicos
(BESTEK, 2022)

3.3.3.1.2 Inversores trifásicos.

Los inversores trifásicos son utilizados para la alimentación de cargas donde se requiere un voltaje mayor, a comparación del monofásico que tiene 1 líneas energizada, el inversor trifásico cuenta con un total de 3 líneas que llevan corriente.



Figura 35 Inversor trifásico
(Autosolar, 2022b)

3.3.3.2 Diferencias en los inversores

La principal diferencia que tienen los inversores suele ser su potencia, esta puede variar dependiendo el modelo, así como las protecciones y las certificaciones de laboratorio dependiendo del tamaño del inversor.

3.3.3.2.1 Potencia

Un inversor monofásico y trifásico tiene diferencias respecto a la potencia que puede soportar. Un sistema monofásico está pensado para potencias de menos de 10 kW, en cambio un inversor trifásico para aquellas superiores a 10 kW. (Caldas, 2003)

3.3.3.2.2 Lugar de instalación

En este caso, distinguimos entre un uso residencial y otro industrial o de gran consumo, para residencial se recomienda un inversor monofásico, para grandes consumos se aconseja optar por el inversor trifásico.

3.3.3.2.3 Coste de instalación

Es importante mirar el precio cuando optemos por un inversor monofásico o trifásico por norma general, el primero de ellos conlleva un coste más bajo. Por su contra, el inversor trifásico tiene un precio más elevado debido a la instalación más compleja que necesita.

3.3.3.2.4 Tensión adaptable

El inversor monofásico soporta una tensión de 230 volts aproximadamente. Por otro lado, el inversor trifásico aguanta una tensión de hasta 1000V. (Caldas, 2003)

3.3.4 Micro inversor

Los micro inversores son una extensión de un inversor central, debido a que cada uno de ellos trabajan de manera individual, además son capaces de hacer funcionar de 2 hasta 4 paneles solares y estos se puedan monitorear de manera individual.

Se tienen muchos beneficios el realizar un monitoreo del funcionamiento individual de

cada módulo solar, principalmente cuando se necesita detectar la fuente del problema en cuanto al rendimiento que ofrecen los módulos solares a una residencia o empresa.



Figura 36 Micro inversor (Social Energy, 2020)

3.3.4.1 Ventajas del uso de micro inversores

Una de las grandes ventajas de los micro inversores en instalaciones pequeñas es que se pueden interconectar varios paneles solares a la vez, logrando reducir el costo para instalaciones que requieran una cantidad menor de módulos.

A diferencia de los inversores de cadena que no pueden, son capaces de eliminar y reducir el efecto sombreado, los micro inversores incrementan el rendimiento de las celdas solares, debido a que se puede trabajar independiente con cada micro inversor los cuales pueden optimizar y mejorar la captación de energía en cada panel, así mismo permite sacar el máximo aprovechamiento de un sistema solar fotovoltaico y generan una reducción de costes de instalación y manejo del sistema, debido al uso de micro inversor por cada 2 o 4 paneles solares.

3.3.5 MPPT

El MPPT es una función añadida que dispone este tipo de inversores. El MPPT utiliza sistemas especiales de control de software y hardware que permiten extraer la máxima potencia disponible en todas las condiciones climáticas de los paneles solares.

Los paneles solares, de hecho, tienen una curva característica voltaje/intensidad tal que existe un punto de trabajo óptimo, llamado punto de máxima potencia, donde es posible extraer la máxima potencia disponible.

Este punto de característica varía continuamente de acuerdo con el nivel de radiación solar que incide la superficie de las células fotovoltaicas. Es evidente que un inversor capaz de permanecer "enganchado" en este punto siempre obtendrá la potencia máxima disponible en cualquier condición.

Existen varias técnicas para implementar la función MPPT que difieren en términos de rendimiento dinámico (tiempo de establecimiento) y precisión. Aunque la precisión del MPPT es extremadamente importante, el tiempo de establecimiento suele ser mayor. Mientras que todos los fabricantes de inversores pueden alcanzar una gran precisión en el MPPT (normalmente entre el 99 al 99.6% del máximo disponible), sólo unos pocos pueden combinar precisión a velocidad. (de Brito et al., 2013)

De hecho, en los días con nubosidad variable ocurren cambios grandes y repentinos en la energía solar. Es muy común detectar variaciones de 100 watts/m² a 1000 watts/m² en menos de 2 segundos. En estas condiciones, que son muy frecuentes, un inversor con tiempos de asentamiento de menos de 5 segundos puede producir hasta 5% al 10% más de energía que uno lento.

Algunos inversores fotovoltaicos están equipados con etapas de potencia modulares, y algunos incluso están equipados con un MPPT para cada etapa de potencia, de esta forma los fabricantes dejan que el sistema de ingeniería tenga libertad para configurar el funcionamiento independiente o MPPT.

El uso de MPPT independientes proporciona una ventaja objetiva en condiciones de irradiación de panel no uniformes. De hecho, no es infrecuente que la superficie de los paneles solares esté expuesta al Sol de una manera que difiera en todo el campo. Esto se debe a que está organizado en dos niveles diferentes del techo, ya que los módulos no se distribuyen en cadenas de igual longitud o debido a un sombreado parcial de los mismos módulos. En este caso, el uso de un sólo MPPT haría que el inversor trabajara fuera del punto de máxima potencia y en consecuencia, la producción de energía se dañaría.

3.3.6 Controladores

El controlador de carga o también conocido como regulador de carga, es el componente de la instalación encargado de dirigir y controlar la energía que circula entre la batería y los módulos solares fotovoltaicos, en definitiva, el controlador de carga evita las sobrecargas y sobre descargas de las baterías cuando están recibiendo energía fotovoltaica de los paneles solares de la instalación fotovoltaica.



Figura 37 Controlador De Carga Panel Solar
(Autosolar, 2022)

La mayoría de los controladores de carga tiene un ciclo de carga de 3 etapas:

Primera etapa: En esta etapa, el voltaje de carga se va elevando gradualmente hasta llegar a un tope (este valor de tensión depende de cada batería), mientras que la batería se encuentra en el consumo máximo de corriente eléctrica.

Segunda Etapa: Durante esta, la tensión se mantiene por un tiempo determinado (1 hora aproximadamente), y posteriormente la corriente empieza a disminuir gradualmente, a medida que la batería se carga.

Tercera etapa: En esta última, el voltaje baja de nivel, y se mantiene un mínimo flujo de energía, hasta que se requiera volver a iniciar con la primera etapa.

3.3.7 Protecciones

El objetivo principal de las protecciones eléctricas para sistemas fotovoltaicos es evitar daños o deterioros producidos por cortocircuitos, sobretensiones y sobrecargas.

En líneas generales, en todo sistema eléctrico las protecciones son una parte fundamental que busca aislar posibles fallas para evitar la posibilidad de un incendio, perturbaciones a la red, minimizar el daño de los propios aparatos y equipos adyacentes y proteger tanto al usuario como al personal que realice la instalación y futuros mantenimientos.

3.3.7.1 Protecciones para el lado de corriente Directa

Como primera medida de protección del sistema fotovoltaico se encuentran los fusibles DC. En condiciones normales de operación la corriente circula a través de estos, si por algún motivo, la corriente supera la máxima que soporta el fusible se funde el conductor de metal en su interior y abre el circuito evitando así dañar al resto de los componentes. Si se activa se puede reemplazar fácilmente por un fusible nuevo. (Aurora & Salgado, 2012)

Por otro lado, el interruptor termo magnético vcc es otra medida para proteger el circuito de corriente continua del daño causado por la potencial circulación de excesiva corriente. También son empleados como seccionadores para el polo positivo y el negativo.

Por último, tanto la parte de corriente alterna como de directa deben estar protegidas contra las sobretensiones que pueden producirse en una tormenta. Por ello se utiliza un elemento conocido como varistor. Se utiliza la misma protección para sistemas en red y fuera de la red.

3.3.7.2 Protecciones para el lado de corriente alterna

En el lado de corriente alterna tenemos el interruptor termo magnético vca. Como su nombre lo indica combina dos efectos, el magnetismo y el calor para interrumpir el paso de la corriente cuando se detectan valores superiores a un cierto límite determinado por el fabricante. Su objetivo principal es proteger de sobrecargas y cortocircuitos a cables y equipos eléctricos. (DSpace En ESPOL, 2011)

Por otro lado, se destaca como medida de protección muy importante el interruptor diferencial. Protege a las personas de accidentes por contacto directo a partes vivas de

la instalación o a elementos que tengan electricidad por corrientes residuales o de fuga. Para que se produzca la apertura del circuito, la corriente de fuga debe de ser superior a la corriente de sensibilidad del diferencial que por normativa es inferior a 30 miliampere (mA).

Finalmente, para proteger a nuestros equipos de posibles sobretensiones y rayos procedentes de la red se instala a un electrodo de cobre literalmente puesto a tierra. Las protecciones eléctricas de una instalación solar fotovoltaica son vitales para garantizar la seguridad general del sistema, se dividen en dos niveles según las regulaciones vigentes. El primer nivel corresponde a la corriente continua y está conformado por fusibles, interruptor termomagnético de corriente directa y protector de varistor. El segundo nivel de corriente alterna está constituido por interruptor termomagnético y varistor de vca.

3.3.8 Cajas de conexión

Es una caja metálica para realizar conexiones en paralelo entre los módulos y el inversor. El propósito de una caja de conexiones es proveer un espacio que permite la instalación de los medios de protección contra sobre corriente cuando se realizan conexiones en paralelo entre los arreglos Fotovoltaicos y también funciona como una caja de conexiones que permite realizar el cambio entre un cable de un solo conductor fotovoltaico a un conductor con aislamiento THHW en canalizaciones. (Escuela mexicana de electricidad, s.f.)



Figura 38 Cajas de conexión de energía solar fotovoltaica
(Llorente Alvaro, 2014)

3.3.9 Optimizadores

Un optimizador de potencia sirve para reducir las posibles pérdidas que se producen en una instalación fotovoltaica, por ejemplo, a causa del sombreado o los obstáculos que puedan existir en el tejado y maximizar la eficiencia.

A diferencia de un inversor, el optimizador de potencia se debe colocar por cada panel, y es capaz de optimizar el punto de máxima potencia por panel y no en todo el conjunto, como lo hace el inversor.

Un optimizador no transforma la energía en alterna como lo hace el inversor. El optimizador se encarga de maximizar y optimizar esa energía antes de enviarla al inversor.

El optimizador aumenta la eficiencia de la instalación en general porque detectan el punto de máxima potencia por panel independientemente de los factores climáticos externos o los problemas derivados del sombreado u obstáculos.

Tienen un escaso mantenimiento porque es capaz de detectar en la instalación el panel con un funcionamiento defectuoso evitando las pérdidas de energía causadas por las diferencias de potencia entre paneles y trabajar con instalaciones fotovoltaicas con baterías sin ningún problema.

3.4 Conexión eléctrica de los módulos

Las placas solares se pueden conectar de tres formas diferentes según las características de la instalación fotovoltaica. La conexión en paralelo, la conexión en serie y la conexión combinada que utiliza a la vez las conexiones en serie y en paralelo.

3.4.1 Circuito serie.

La conexión en serie se realiza en paneles solares para alcanzar la potencia requerida por el inversor; Mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares entre sí, conectando el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. Por ejemplo, si se conectan en serie 4 placas de 260W, 8.34A y V_{mp} de 31V (Voltaje en el punto de máxima potencia) cada una, se obtendrán 260W, 124V y

8.34A. Para este tipo de placas solares es necesario utilizar reguladores maximizadores MPPT los cuales modulan el alto voltaje optimizando la capacidad de generar energía(Enriquez & Harper, 2004; Moro Vallina, 2018)

3.4.2 Circuito paralelo.

La conexión en paralelo se realiza conectando por un lado todos los polos positivos de las placas de la instalación solar, y por el otro, conectando todos los polos negativos. De esta forma, se mantiene el voltaje de las placas solares mientras que se suma la intensidad. Por ejemplo, si se conectan en paralelo 4 placas solares de 140W 7.9A 12V cada una, se obtendrán 560W 31,6A a un voltaje de 12 voltios. (Enriquez & Harper, 2004; Moro Vallina, 2018)

3.4.3 Circuito serie paralelo.

La conexión serie paralelo se suele utilizar habitualmente en instalaciones donde se conecten 3 o más cadenas, esto con la finalidad de reducir el gasto en conexiones, colocar protecciones y alcanzar el amperaje requerido por el inversor.

De esta forma, gracias a esta conexión se aumenta tanto el voltaje como la intensidad, la cual posteriormente el regulador MPPT adaptará a las características de las baterías. Si se dispone de 6 placas solares de 260W 8,34A y V_{mp} de 31 o 32V, se conectarán 2 grupos de 3 placas en serie y luego se conectarán los 2 grupos entre ellos en paralelo. Resultando un sistema de 520W 93V 16,68A. (Enriquez & Harper, 2004; Moro Vallina, 2018)

Capítulo 4

4. Fallos en los sistemas Fotovoltaicos.

4.1 Riesgos de fallos

Los sistemas fotovoltaicos están diseñados para un funcionamiento confiable durante un lapso de 25 a 30 años el cual es el tiempo de la vida útil del producto. A pesar de esto, todavía se producen defectos de fabricación, por agentes perjudiciales en el ambiente, fallas prematuras o las más comunes que son las fallas por una mala manipulación, instalación y desconocimiento de la instalación de los sistemas los cuales pueden afectar el rendimiento del sistema a tal grado que se lleguen a generar fallos graves en las instalaciones que van desde problemas pequeños como no cubrir la cantidad de energía necesaria por el cliente hasta problemas mayores como causar incendios por un fallo en la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico.

Por esta razón es que es muy importante contar con el conocimiento necesario para realizar la instalación de forma correcta como lo requiere la NOM-001-SEDE-2012 la cual en la mayoría de instalaciones con fallos no se encuentra presente. (Aurora & Salgado, 2012)

La fiabilidad y la calidad de los materiales como lo son principalmente los módulos fotovoltaicos están diseñados e integrados con las técnicas de producción en masa que, aunque controladas, también pueden llegar a producir defectos en los módulos.

Sin embargo suelen ser muy contados los casos de fallos por defectos de fábrica tomando más relevancia los fallos dados en la instalación en el campo, así como el transporte de los módulos y en el uso de productos no autorizados que incumplen con la norma, provocando daños incluso antes de poner en marcha la instalación, hasta daños que se verán reflejados en meses o años de su instalación, acortando la vida útil de los productos y generando un riesgo para el cliente y las instalaciones de CFE.

4.2 Riesgos climáticos

Uno de los errores que se llegan a cometer en zonas costeras son el estudio inadecuado del lugar, esto generando riesgos por no proteger las instalaciones contra áreas con mucha salinidad en el aire o con el posicionamiento de estructuras en zonas expuestas a diferentes fenómenos tropicales, principalmente huracanes y vientos de alta velocidad, los que representan una amenaza potencial para el sistema de parques solares fotovoltaicos a instalar.

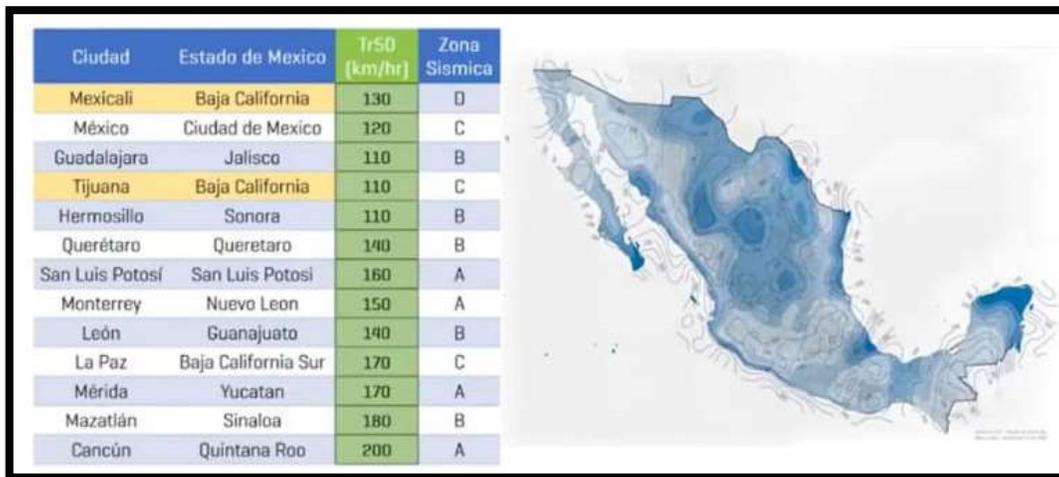


Figura 39 Diseño por vientos: velocidades de viento (conagua, 2022)

Los peligros de desastre más significativos para los sistemas fotovoltaicos que se instalan en las regiones costera clasifican como de origen natural, los que se relacionan a continuación con los principales factores de peligro que los caracterizan:

- Ciclones tropicales: vientos fuertes, lluvias intensas las cuales solo se presentan en las zonas costeras en México
- Lluvias intensas de origen ciclónico y no ciclónico
- Tormentas locales severas: vientos fuertes, lluvias intensas de corta duración, actividad eléctrica, caída de granizos.

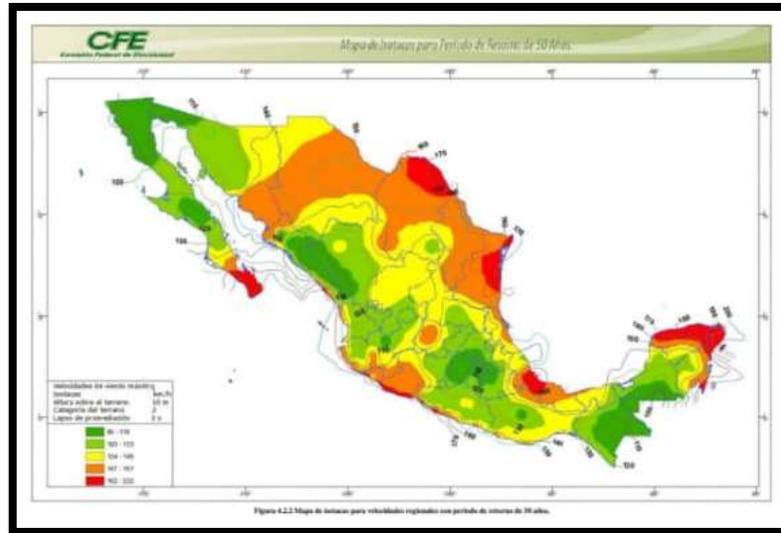


Figura 40 Mapa de velocidades del viento (CFE , 2020)

Al igual que se deberá a tener en consideración las normas de protección con las que los módulos deberán contar como la Norma IEC 61701 prueba de resistencia a la corrosión por neblina salina, la cual protegerá nuestros módulos que estén en costa y nos dará una mayor cantidad de vida.

Para la resistencia contra las lluvias provocadas de alta intensidad con granizo sobre todo en zonas donde su clima es variable, se necesitan módulos fotovoltaicos con certificaciones especiales como son las certificaciones **IEC 61215** la cual marca que los requisitos estándares deben ser superados para operar a largo plazo al aire libre en general. La prueba consiste en el lanzamiento de una bola de hielo de 230 gr a una velocidad de 39.5 M/s la cual certifica que el daño que se sufre en estos paneles debe ser menor al 5% del daño recibido.

Teniendo estos datos en mente se pueden generar medidas para prevenir y disminuir los riesgos de afectación a las instalaciones realizadas en zonas costeras donde se tenga información de altas cantidades de vientos, desastres naturales o incluso el mismo ambiente que nos pudieran afectar a futuro en nuestras instalaciones analizando los niveles de riesgo que representan para dicho sistema, la amenaza de este y otros peligros naturales, proponiendo algunas medidas para mitigar sus efectos.

4.2.2 Zonas áridas y desérticas

El polvo se ha convertido en un problema en la operación de las plantas fotovoltaicas por lo que la medición del polvo ha tomado gran relevancia para planificar la frecuencia de limpieza de las grandes plantas solares. El polvo sobre los módulos fotovoltaicos reduce considerablemente la producción de energía, afectando incluso en los retornos anuales esperados y sus costos operacionales.

Una de las técnicas más comunes para la medición del efecto del polvo, es el método de comparación entre dos módulos de referencia: uno limpio y uno sucio. La frecuencia de limpieza del módulo limpio suele ser semanal, o dependiendo de la factibilidad de automatizar el proceso de limpieza, también puede ser diario con el objetivo de mejorar el patrón de comparación.

A través de esta técnica de comparación, es posible identificar el rendimiento del módulo a través de la comparación de la corriente de corto circuito (I_{cc}), o bien el punto de máxima potencia (P_{mp}) de los módulos, donde esta última es mucho más precisa ya que la relación de disminución de la potencia no es lineal con la corriente. La técnica de medición de polvo por comparación de dos módulos, dejando fuera algunos errores de los modelos ya que se compara en condiciones similares del emplazamiento donde se está midiendo (temperatura, radiación solar, viento, humedad, etc.).

Las cantidades de polvo que pueden llegar a nuestra instalación fotovoltaica pueden provenir de zonas cercanas por efecto del viento y su efecto de deposición puede verse influenciado por la humedad y temperatura de los módulos. Existen muchos modelos y teorías respecto a las pérdidas de energía, además de una variada oferta de soluciones tecnológicas para mitigar el efecto del polvo, sin embargo, la mejor solución efectiva radica principalmente en dos efectos: la reducción de la producción energía y los costos asociados al mantenimiento.

4.3 Instalación Incorrecta del Sistema Fotovoltaico

Existen muchas cuestiones que pueden generar problemas en las instalaciones los cuales pueden derivar de riesgos pequeños, hasta problemas a gran escala que si no son atendidos costaran perdida, tanto materiales, económicas y en el peor de los casos humanas.



Figura 41 Pérdida total de un SFV por ráfagas de viento

4.3.1 Hombre panel

Un hombre panel se le denomina a una persona el cual se encuentra en el medio del mercado energético que ofrece servicios de instalaciones fotovoltaicas sin garantías ni respaldos en el cual puedan tener algún tipo de grupo, empresa o compañía que sea especializada en el área.



Figura 42 Reducción del aprovechamiento del sistema

La mayoría de este tipo de instaladores informales generan fallas totales en el sistema, reduce la vida útil de un generador fotovoltaico y defectos en su funcionamiento para la generación de energía.



Figura 43 Anclaje ineficiente del sistema

Para la realización de una instalación fotovoltaica se requiere que el instalador cuente con el estándar de competencia adecuado de un sistema fotovoltaico (EC586.01) con el cual se ampare que el instalador cuenta con el conocimiento práctico y la normativa necesaria para realizar una instalación fotovoltaica, cumpliendo con los estándares impuestos en el NOM-001-SEDE-2012.



Figura 44 Falta en el Art. 100 la NOM-001-SEDE-2012 "Solo personal Calificado"

4.3.2 Equipo de protección personal

Es el conjunto de elementos y dispositivos, diseñados específicamente para el resguardo del trabajador contra accidentes o padecimientos que puedan ser causados por el mismo trabajo como lo son agentes de riesgo contaminantes del ambiente labora. En caso de que se establezca la necesidad de utilizar ropa para trabajo con características de protección esta será considerada como equipo de protección personal. (Enriquez & Harper, 2004)



Figura 45 Falta en la NOM-017-SEDE-2008 Equipo de protección personal

4.3.3 Calidad del material

La calidad dentro del material en la instalación de los sistemas fotovoltaicos es una de las prioridades que debe tomar en cuenta el instalador al momento de elegir los componentes para la instalación; el mercado mexicano se encuentra lleno de componentes para sistema fotovoltaico de baja calidad o que no cumplen con las certificaciones requeridas para una instalación fotovoltaica por lo cual es muy fácil comprar material el cual no va a llegar a durar 25 años de vida del sistema y que

ocasionaran problemas más adelante al instalador, así como componentes realizados con materiales de baja gama que tendrán una duración muy corta a comparación del material profesional.



Figura 46 Error fatal de sistema puesta a tierra

Una parte de los accidentes se suelen dar por la compra de estos componentes que cuentan con un costo mucho menor a comparación con los materiales que deberían ser utilizados en su lugar, regularmente estos son comprados por personas que no cuentan con el conocimiento de los materiales que se requieren para una instalación fotovoltaica o por el hecho de hacer un ahorro en el capital de inversión de un sistema fotovoltaico generando problemas que a futuro podrían comprometer el sistema completo así como la ubicación de la instalación.

De la misma manera estas personas suelen instalar sin respetar la NOM-001-SEDE-2012 por lo cual generan una gran variación de problemas, así como lo fue el incendio de 12 módulos en Ciudad judicial jalisco en el 2018 donde se puede notar el incumplimiento de la norma al realizar una base casera y módulos de baja eficiencia.



Figura 47 quema de sistema fotovoltaico ciudad judicial jalisco

4.3.3.1 Estructura metálica

Existen distintos tipos de estructuras, las cuales son para distintos techos, orientaciones e inclinaciones que son para aprovechar al máximo el potencial del generador fotovoltaico.

El material para uso fotovoltaico tiene que tener grado marítimo, esto permite que la estructura pueda estar a la intemperie por mucho más tiempo que una estructura de PTR, el grado de protección tiene que tener resistencia a la humedad y al sol así como una protección contra el par galvánico al instalar material de distinta composición.



Figura 48 Estructura de PTR sin protección contra el par galvánico

Una instalación certificada no solo proveerá de un largo tiempo de vida útil, sino que también contará con una validación estructural ANSCE7-10/UL2703 que indica un desempeño y vida útil de 25 años, así como proteger contra el par galvánico, protección contra ráfagas de viento en distintas circunstancias, entre otros.

4.3.3.1.1 Estructuras para cubiertas inclinadas

Estas son las más económicas en el mercado, el montaje es rápido y se adapta perfectamente al espacio de instalación. Son elementos horizontales anclados en paralelo mediante el empleo de diversas fijaciones.

4.3.3.1.2 Estructuras para superficies planas

Este tipo de estructuras permiten una instalación en estructuras regulables, estas permiten colocar los módulos fotovoltaicos con la inclinación en su función requerida dependiente de la latitud. Se realiza a través de ángulos regulables demasiado efectivos y se pueden aplicar en cubiertas planas como en instalaciones de suelo, de esta manera esta estructura se acopla mejor a la inclinación adecuada.

4.3.3.1.3 Estructuras para placas fotovoltaicas para suelo

Este tipo de estructuras se adaptan bastante para campo abierto y son idóneas para el bombeo solar, huertas solares y proyectos de autoconsumo donde no llegue la conexión a la red eléctrica pública.

4.3.3.1.4 Estructuras para cubiertas planas

Este tipo de estructuras se fabrican a medida de las necesidades de la instalación como son el ángulo y el tamaño del módulo fotovoltaico, dependiendo del tipo de superficie en el que se instalará la estructura de los módulos, no siempre será posible la perforación como los son especialmente cubiertas tipo DECK o de PVC.

4.3.3.2 Accesorios

Algunos de los accesorios los cuales son necesarios para el ensamblaje de una estructura metálica varían entre su composición y posicionamiento en la estructura y dependen de la misma instalación, la marca de la estructura y el tipo de cubierta o de anclaje en el que se vaya aplicar, pueden ser mecanismos los cuales mantengan la separación entre módulos como son los clips para conexión a tierra, el soporte de unión ajustable, el soporte trasero ajustable para dar la inclinación de los módulos y el soporte universal fijo para dar una altura mínima del suelo hacia el pie de instalación del panel.



Figura 49 Uso correcto de los anclajes del módulo a la estructura

4.3.4 Sistema fotovoltaico

Vale la pena mencionar que las probabilidades de que el sistema fotovoltaico tenga un problema son bajas si es instalado por una empresa experta en el sector. Si el sistema de paneles solares falla en algún momento, podría deberse a lo siguiente:

4.3.4.1.1 Cableado en la instalación

Esto falla gracias a la falta de la realización de cálculos y correcciones debidas para cada una de las secciones del sistema desde los conductores de corriente directa hasta los de corriente alterna, esto porque al no utilizar los conductores correctos se genera una fundición del termo plástico el cual tendrá repercusiones muy fuertes para el sistema siendo uno de los posibles orígenes de la mayoría de los incendios.

Estos defectos en la instalación se deben en gran medida a que algunas empresas que se dedican a instalar paneles solares; no cuentan con un personal certificado en el área, por lo que es importante evaluar sus capacidades técnicas y experiencia.

4.3.4.1.2 Errores en el diseño

La etapa de diseño y planificación del sistema fotovoltaico es clave para tomar las mejores decisiones sobre el tamaño del sistema y calcular la capacidad de energía solar que generará.



Figura 50 Diseño erróneo de SFV

Las fallas más comunes que encontramos en esta parte son los cálculos erróneos de la energía que va a generar, cableado sub-dimensionado y problemas de sombras de árboles o edificios a lado del inmueble que no se tomaron en cuenta y que impiden el paso de los rayos del sol a los paneles solares. Esto último podría afectar de manera significativa la generación de energía y, por ende, el retorno de inversión.



Figura 51 Incorrecto dimensionamiento de un SFVI

Una empresa profesional realiza un análisis exhaustivo para evitar estos errores y garantizar el máximo ahorro en tu factura eléctrica generando energía solar.

4.3.4.1.3 Instalación de los componentes

Como se mencionó anteriormente, un personal sin la formación necesaria para instalar sistemas fotovoltaicos puede aumentar la probabilidad de errores en esta etapa.



Figura 52 Falla en Conectores MC4 por mal Ponchado del cable

Las fallas más frecuentes son: perforar el techo del inmueble por métodos de sellado inadecuados, fallas a tierra o de protección contra descargas eléctricas, nula intervención en el caso de corrosión debido a un par galvánico provocado por el nulo uso de empaques de un material inerte en bases de PTR e insuficiente ventilación del inversor

y de los paneles solares ya que es necesario que exista una buena circulación de aire para el enfriamiento adecuado.

Estos errores pueden evitarse fácilmente con un trabajo en conjunto de un instalador certificado, un electricista y de una UVIE capacitada en el ámbito de lo fotoeléctrico.

4.3.4.1.4 Defectos de fábrica

Las probabilidades de tener defectos de fábrica suelen ser muy bajas cuando eliges una empresa confiable que trabaja con materiales de alta calidad.

A diferencia de marcas Tier 3 las empresas que cuentan con el Tier 1 se enfocan en que sus procesos sean principalmente automatizados por lo cual los defectos ocasionados por las manos humanas se reducen gracias a la gran precisión que cuentan las maquinas especializadas.

Cuando esto sucede, es posible hacer uso de las garantías que ofrece tanto el fabricante de los paneles solares como la empresa instaladora de sistemas fotovoltaicos; estas garantías regularmente cubren cualquier desperfecto de fábrica y protegen tu inversión por muchos años.

4.3.4.1.5 Mal funcionamiento del inversor

Como vimos anteriormente, el inversor es muy importante en un sistema fotovoltaico, principalmente pueden presentarse dos inconvenientes; uno es que se presente un mal funcionamiento del inversor, esto debido a un mal o nulo cálculo de la cantidad de módulos requeridos para contar con un funcionamiento, lo que podría afectar el rendimiento del sistema o que se conecten demasiados módulos generando una sobre tensión en el equipo la cual derive en un incendio.



Figura 53 Sistema expuesto a las condiciones ambientales

Otro factor es que no cuente con las certificaciones necesarias para poder funcionar de forma óptima lo cual en caso de ser interconectado se podrían generar problemas más adelante o que simplemente no se pueda instalar a la red generando problemas al instalador por la falta de certificaciones.



Figura 54 Sistema expuesto a las condiciones ambientales después de un fallo

A pesar de que los inversores son de excelente calidad y están fabricados para trabajar en las condiciones más extremas de temperatura, estos son el componente solar más delicado de toda la instalación. Son computadoras que en todo momento están convirtiendo la energía para que la puedas aprovechar al máximo y tanto las condiciones externas como su uso, pueden alargar o acortar su vida útil.



Figura 55 Sistema fotovoltaico autónomo

Es importante que la empresa instaladora sepa dimensionar de manera correcta la cantidad de inversores y paneles que tendrán conectados, ya que un mal cálculo también puede generar un mal funcionamiento o un incendio.



Figura 56 Incendio de inverter Growatt producido por un mal dimensionamiento

4.3.4.1.6 puntos calientes.

Los puntos calientes denominados 'hot spots' son un importante enemigo de los módulos fotovoltaicos. Estos puntos afectan a determinadas zonas del módulo llevándolas a una elevada temperatura que afecta directamente a la eficiencia, potencia de salida y a un gran aumento de deterioro del panel solar. Los puntos calientes surgen a causa de errores en la fabricación del módulo fotovoltaico, así como de realizar presión en los paneles o dejar una sombra continua por más de 8 meses sobre el panel es ahí donde aparecen los puntos calientes.

Los puntos calientes se suelen dar después de que una parte de la celda se haya micro fracturado esto generando una resistencia que activa los diodos by pass reduciendo la eficiencia del módulo y que con el paso del tiempo puede derivar en un incendio del módulo debido a esta resistencia creada por la microfractura.

Las microfracturas pueden darse de formas muy sencillas, por ejemplo, al ejercer fuerza en la celda o incluso por un golpe fuerte al módulo fotovoltaico.



Figura 57 Incorrecto mantenimiento de un panel solar

Parte de la energía que produce la célula se disipa en forma de calor en un área localizada y forma el punto caliente. La aparición de puntos calientes se debe a un mal manejo de los mismos por parte de los instaladores o transportista, dado que los puntos

calientes son imperceptibles para el ojo humano se deberá realizar una revisión con una cámara termográfica para poder localizar donde se ha generado un punto caliente en el módulo.

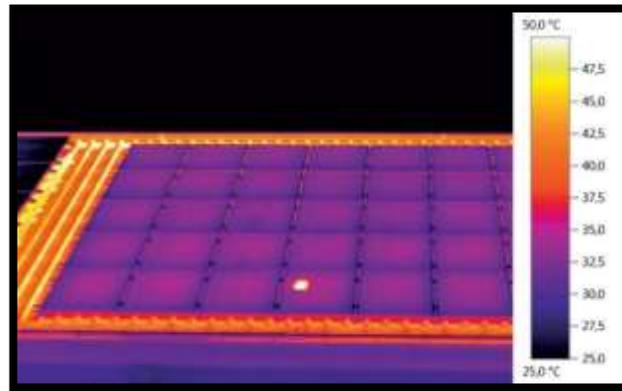


Figura 58 Puntos calientes desde la vista de la cámara termográfica
(Celdares, 2022)

En módulos hechos a mano algunas empresas no optimizan adecuadamente las soldaduras, no dejan que la soldadura llegue al punto óptimo de temperatura por ahorrar tiempo, lo que provoca la aparición de puntos calientes. Estos puntos calientes derivan en un mal funcionamiento del módulo fotovoltaico y acaban por estropear el mismo.

Por otro lado, el deterioro del Tedlar. El Tedlar es la cobertura trasera que tienen los paneles solares (PVC o Fluoruro de polivinilo) que actúa como impermeabilizante de la célula solar. Muchos fabricantes usan materiales de baja calidad para reducir el coste, lo que acaba en filtraciones y en la oxidación del módulo fotovoltaico. Otra forma para ahorrar dinero es usar un encapsulado EVA (Ethil-Vinil-Acetato) de mala calidad. Se produce un amarilleamiento del EVA que con el tiempo se degrada y provoca una bajada de producción en el módulo.

Uno de los fallos recurrentes que generan microfisuras es el taladrar los módulos fotovoltaicos generando las microfisuras en distintas partes de la celda debido a las vibraciones que se generan durante este proceso lo cual es una irresponsabilidad del instalador que puede generar incendios a gran escala.



Figura 5 Generación de microfisuras por taladrar el módulo

4.3.4.1.7 Mala orientación

Una correcta orientación asegurara la mejor eficiencia que se pueda aprovechar de los módulos, sin embargo, no siempre es posible realizar una orientación ideal por lo cual se deberá realizar un factor de corrección por orientación para obtener la cantidad necesaria de módulos que se requieren para abarcar todo el consumo promedio de energía.

Por el contrario, si no se llega a realizar este factor de corrección no se alcanzará la potencia fotovoltaica deseada la cual abra disminuido considerablemente dependiendo de la orientación elegida.

4.3.4.1.8 Inclinación incorrecta

Una mala inclinación puede afectar su rendimiento y capacidad para transformar la energía solar en eléctrica. Por eso, es muy importante verificar que cuenten con una buena orientación, al momento de instalarlas.



Figura 60 Incorrecta inclinación del SFV en el edificio de la lotería MTY

En caso de no contar con la orientación adecuada se deberá realizar el cálculo correctivo necesario para que la instalación funcione correctamente sin embargo no se deberá realizar una instalación con una inclinación menor a los 10° debido a que se pierde la limpieza natural de los módulos y se genera un encharcamiento de los módulos lo cual con el paso del tiempo se opacarían provocando resistencia en los módulos que se convertirán en puntos calientes.

4.3.4.1.9 Orientación Sur

La mejor inclinación para un módulo fotovoltaico en México es hacia el sur, en un ángulo de 180° para ser más precisos. Cuando los módulos de los sistemas fotovoltaicos son orientados hacia esa dirección, pueden recibir más irradiación solar, tanto en el día como en la noche. De esta manera, podrán ofrecer un alto rendimiento.

Cuando la inclinación está hacia el sur, el sol puede incidir perpendicularmente hacia la superficie de la placa solar y obtener una mayor eficiencia. Sin embargo, es necesario determinar si la superficie permite que pueda ser ubicada en esa dirección.

Gracias a su ubicación, pueden ofrecer un alto rendimiento durante las principales horas de la actividad industrial.

4.3.4.1.10 Orientación oeste

En caso de que la superficie no permita orientar los módulos en dirección sur, también podemos hacerlo hacia el oeste. De hecho, esta inclinación paneles solares es la más utilizada para las residencias y puede ser la mejor opción, cuando se deben instalar sistemas fotovoltaicos sin baterías.

Durante este tipo de instalaciones, existe un factor común, y es que la mayor parte de requerimiento energético se presenta en horas de la tarde-noche; ya que es el momento en el que los usuarios regresan a casa de su jornada laboral.

4.3.4.1.11 Orientación este-oeste

Consiste en la inclinación de módulos solares fotovoltaicos en México hacia la zona este-oeste. En este tipo de instalación, la mitad de las placas solares van hacia el este y el resto hacia el oeste.

De acuerdo a este tipo de orientación, nuestro sistema fotovoltaico ubicado al este quedará expuesto a una máxima radiación solar, durante las mañanas. Y la parte oeste, podrá ofrecer un mejor rendimiento en las tardes.

Al disponer de una inclinación este-oeste, es posible acceder a las siguientes ventajas:

4.3.4.1.12 Distribución regular

Mientras que la inclinación de módulos fotovoltaicos hacia el sur, ofrece gran potencia durante el mediodía, los de tipo este-oeste pueden mantener su eficiencia tanto en la mañana, como en la tarde.

4.3.4.1.13 Mayor cantidad de módulos

Una distribución con la inclinación este-oeste, exige mayor número de módulos fotovoltaicos, permitiendo así, aumentar la cantidad de producción de energía eléctrica. El único inconveniente, es que es importante contar con gran espacio sobre el tejado donde debe ser instalado.

4.3.4.1.14 Aumenta la efectividad del panel solar

Sí gracias a esta orientación, los paneles solares pueden ofrecer mayor eficiencia. Esto se debe a que suelen tener una inclinación de 150° , evitando el sombreado en las primeras líneas de placas solares.

4.3.4.1.15 Es más aerodinámica

Es menos vulnerable a los efectos del viento, ya que tiene una inclinación contraria a su recorrido natural.

4.3.4.1.16 Menos contrapeso en la cubierta

El peso de la instalación es reducido debido a la inclinación que poseen, así como los posibles daños que pueden presentarse en la superficie de instalación.

Mientras más inclinado se encuentre un panel solar, más perpendicular estará hacia los rayos solares. Esto indica que puede producir más energía eléctrica.

Por eso, es necesario determinar la altura máxima y mínima que alcanza el sol durante el medio día y lograr decidir a cuántos grados se debe hacer la inclinación de módulos fotovoltaicos.

4.3.5 cálculos erróneos

Uno de los principales errores que suelen tener los instaladores de sistemas fotovoltaicos es al momento de realizar los cálculos del sistema siendo estos sumamente importantes al momento de instalar para conocer la cantidad de equipo que deben instalar, sin embargo muchas veces suelen omitir algunos cálculos importantes o simplemente desconocen de la existencia del cálculo de estos mismos generando mayormente problemas desde las canalizaciones, el cableado, las protecciones, hasta la misma colocación de los módulos fotovoltaicos, lo cual suele generar errores fatales para un instalador esto sin mencionar todas las posibles repercusiones que pueden llegar a generar el simple hecho de omitir un pequeño cálculo por la falta de experiencia del instalador.



Figura 61 Fallo en el cálculo por expansión térmica

4.3.5.1. Protecciones

Son partes fundamentales de una instalación el cual protegen al circuito, brindan seguridad de un sistema y su integridad física evitando que una falla llegue al tablero de conexiones generando una desconexión del sistema por medio de un dispositivo de protección contra sobre corriente (DPSC), varistores o fusibles, así asegurando que la falla se quede en un solo tramo de la instalación y no dañe los componentes conectados a la instalación eléctrica.

Los varistores se suelen colocar en caso de un incremento del voltaje en la red eléctrica, por causas naturales como la caída de un rayo, así como por fallos del sistema de red.

En el caso de los DPSC y fusibles estos están diseñados para cumplir su función con un incremento de la intensidad del sistema mayor a la que se tenía previsto lo cual se podría dar por una falla en el sistema o una intensidad mayor de irradiancia no prevista de la zona debido a un mal dimensionamiento.

4.3.5.2 Protección de tierra

Una de las fallas eléctricas más comunes es la falla a tierra, la cual ocurre cuando un conductor no puesto a tierra forma una conexión con un elemento no conductor (un envolvente metálico, una tubería Conduit, o la misma tierra).

Estas fallas a tierra, al provocar flujos de corriente en elementos que normalmente no conducen corriente, provocan calentamiento, pérdidas de energía, generación de tensiones peligrosas y el mal funcionamiento de algunos equipos. Las fallas a tierra también se pueden presentar en un arreglo fotovoltaico, por lo que existen ciertos requerimientos aplicables a las instalaciones fotovoltaicas.

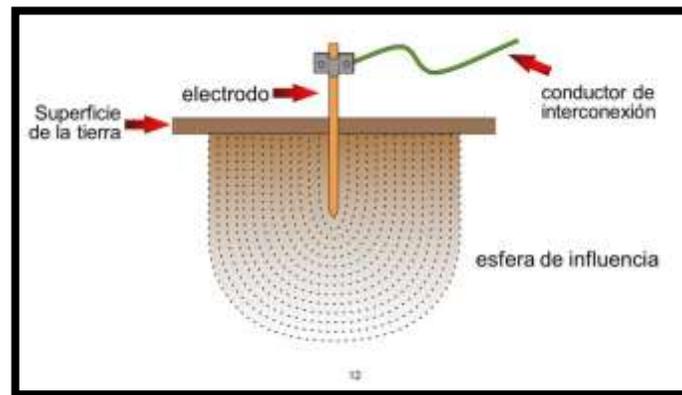


Figura 62 componentes del sistema de puesta a tierra
(Suministro de Materiales Eléctricos, 2020)

4.3.6 Conexiones

Las conexiones eléctricas son acoples los cuales tiene una trayectoria cerrada y tienen como finalidad principal trasladar energía de un punto (A) a un punto (B) es decir de un producto generador de energía a un punto de gasto. Existen distintos tipos de conexiones eléctricas como son las conexiones en paralelo y las conexiones en serie.

4.3.6.1 Conexiones serie paralelo

Una de las dudas que suelen preguntar algunos clientes se refiere a la forma de conectar las placas solares entre ellas. Esta parte es importante conocerla para realizar una conexión correcta o de otro modo hay peligro de que el voltaje no sea adecuado al tipo de instalación y su rendimiento sea menor al que debería ser y por ello produciría una gran falla en la instalación y no tendría un buen funcionamiento.

4.4 Mantenimiento

La limpieza de los paneles solares es necesaria para asegurar su funcionamiento óptimo, evitar averías, prolongar la vida útil de los mismos, entre otras. Para una correcta limpieza se recomienda utilizar los productos adecuados. Uno de los aspectos más importantes que se deben considerar es no rayar ni dañar el vidrio para no reducir la medida de producción de energía del módulo. La mejor opción es realizarla con agua tibia y jabón. Así como utilizar una escobilla de goma para eliminar el agua sucia.



Figura 63 Correcta limpieza de los módulos en el techo

Y es importante comunicarnos con un experto en este tema ya que si agregamos algún líquido no óptimo para la limpieza de estos produciríamos fallas en los módulos fotovoltaicos y por ende su mal funcionamiento a lo largo de su vida útil.



Figura 64 Mantenimiento de módulos fotovoltaicos
(Mty Solar, 2018)

4.5 Cableado suelto

Pueden surgir problemas de generación de energía inesperados como resultado de cables sueltos en el sistema de energía solar. Estos cables conectan celdas fotovoltaicas individuales a los inversores y baterías solares domésticas; el más pequeño error en el cableado puede causar conexiones fallidas. Los instaladores con experiencia en reparaciones y mantenimiento de módulos fotovoltaicos utilizan medidores y otras herramientas de verificación de rendimiento de cables para evaluar dichos problemas y proporcionar soluciones útiles a tiempo.

4.6 Daño interno de los módulos

Los daños internos en los módulos fotovoltaicos pueden ser causados por una producción defectuosa o una selección de componentes de baja calidad. Dan como resultado "rastros de caracoles" (snail trails): des laminación, decoloración de los conectores o células solares, coloración amarillenta de las hojas colocadas en la parte posterior dorada de las películas de EVA (etil-vinil-acetato), tinción de células fotovoltaicas, inclusiones no deseadas en los laminados fotovoltaicos, quema de la parte posterior y / o frontal de los módulos solares, etc. En la mayoría de los casos, los expertos retiran el vidrio del módulo para que puedan ser reparados o cambiados. Sin embargo, el tipo y la extensión del daño lo valoran mejor las compañías de reparación de módulos fotovoltaicos, para luego determinar la viabilidad de la acción.

También se encuentra el deterioro del Tedlar cobertura trasera que tienen los paneles solares (PVC o Fluoruro de polivinilo) que actúa como impermeabilizante de la célula solar. Muchos fabricantes usan materiales de baja calidad para reducir el coste, lo que acaba en filtraciones y en la oxidación del módulo fotovoltaico. Otra forma para ahorrar dinero es usar un EVA de mala calidad. Se produce un amarilleamiento del EVA que con el tiempo se degrada y provoca una bajada de producción en el módulo.

Siguiendo con otros problemas, el delaminado de las células integradas en el módulo fotovoltaico. Se debe a una mala fabricación del laminado del panel solar y al final lo dejará inservible. Es un fallo bastante habitual en módulos fotovoltaicos asiáticos de media-baja calidad, al intentar reducir el tiempo de fabricación de este laminado sacrificando la calidad del mismo.

Otro inconveniente del módulo fotovoltaico de baja calidad es tener problemas con los diodos de Bypass. Es importante saber el tipo de diodos Bypass que usa la caja de conexión del panel solar. La mejor opción son los de uso militar, ya que soportan mejor las altas temperaturas, tienen que estar bien encapsulados con la silicona protectora. Hay casos en los que por culpa de usar un diodo de mala calidad estos se deterioran y dejan el módulo fotovoltaico inservible.

4.7 Daños causados por factores externos

Las tormentas, el granizo, la presión de la nieve, los rayos y otras condiciones climáticas relacionadas pueden causar daños importantes a los módulos solares. Daños externos también pueden ocurrir debido a incendios, mordeduras de animales, ramas rotas, condiciones de hielo y calor o frío excesivos.

La presencia de estos factores provoca la rotura del vidrio del módulo, la rotura de la celda, los rasguños en el marco del módulo, las micro grietas, etc. Las condiciones climáticas frías prolongadas y persistentes pueden torcer o congelar los marcos de los paneles solares, causando la rotura. Los rayos y la sobretensión dan como resultado diodos de derivación defectuosos, cajas de conexiones quemadas, etc. En la mayoría de

los casos, si las células fotovoltaicas solares y los paneles están expuestos al fuego, no se pueden rescatar.



Figura 65 Daños a módulos por causas climáticas
(Zbynek Burival, n.d.)

Metodología para la correcta la instalación de un sistema

A continuación, se presentan el siguiente diagrama de flujo en el que se explica el inicio del levantamiento del sitio en el cual se deberá corroborar si este es el adecuado para la instalación del sistema fotovoltaico y si es o no posible realizar la instalación de manera eficiente sin tener alguna sombra que le afecte al sistema fotovoltaico.

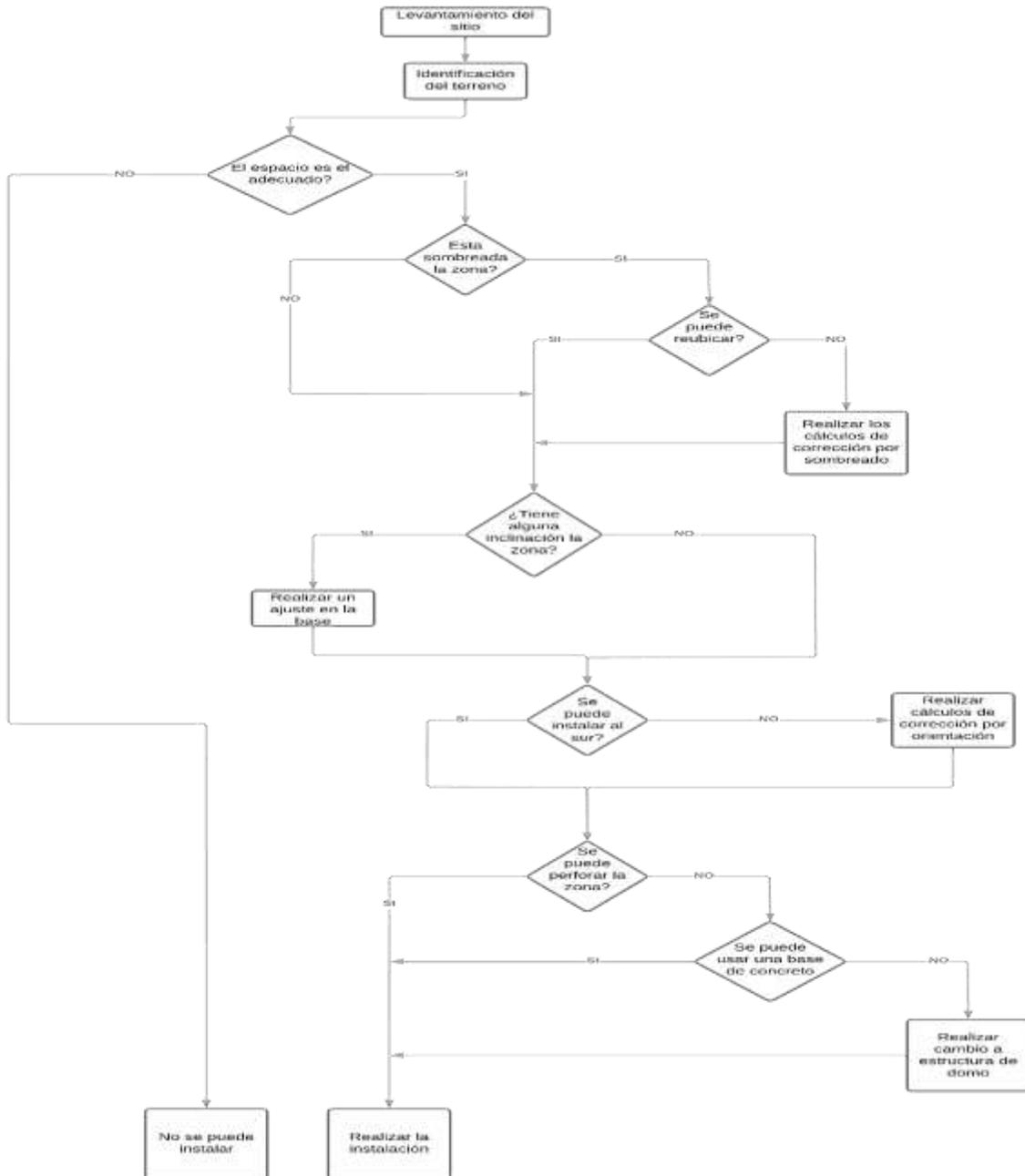


Diagrama 1 Levantamiento del sitio

Una vez que el sitio se haya revisado será el momento de proceder con el dimensionamiento con la finalidad de obtener la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios que se van a instalar en el sitio y saber si se instalara una potencia para todo el consumo del lugar o solo una potencia que cubra el excedente.

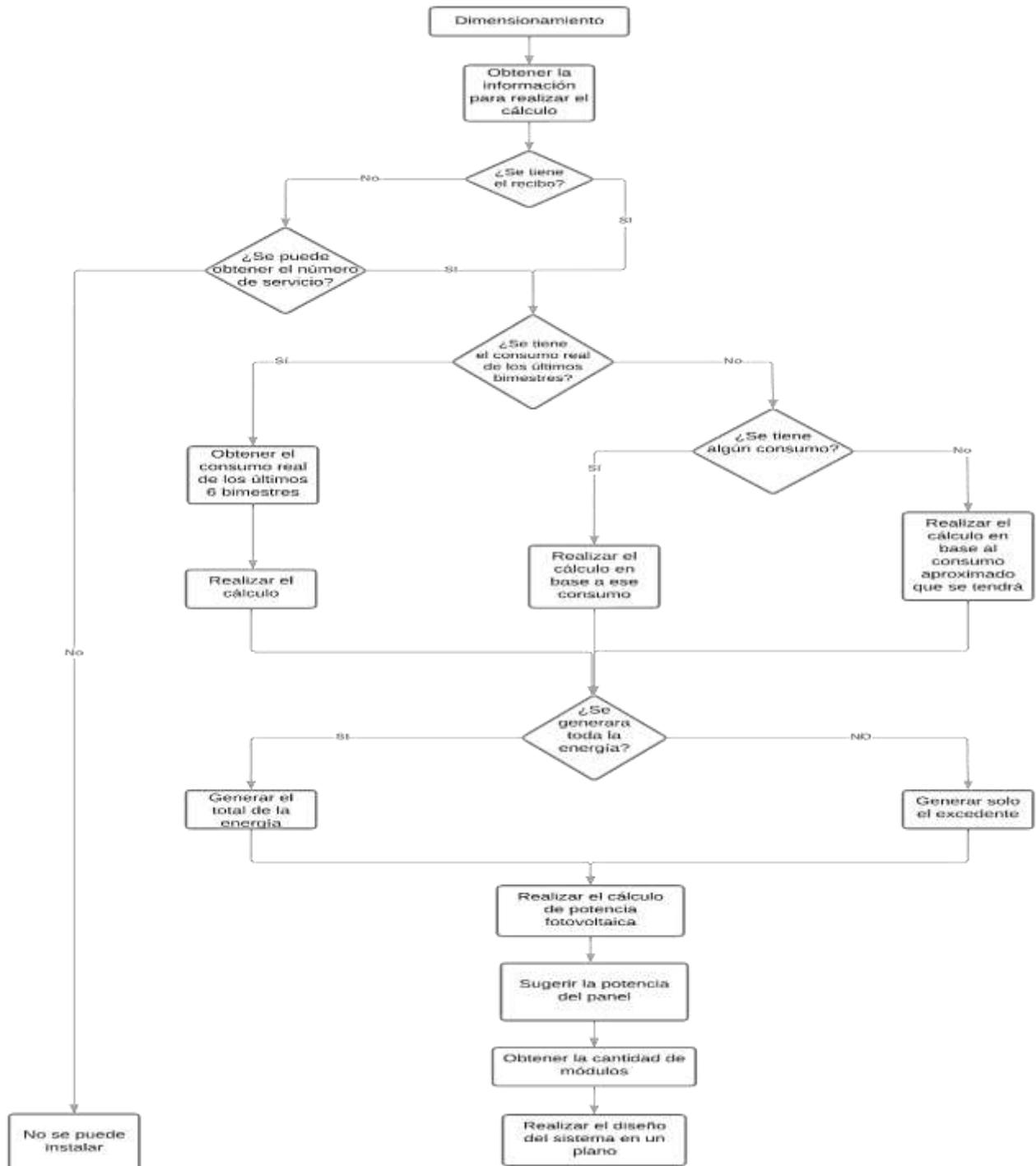


Diagrama 2 Dimensionamiento

Después de la obtención de los cálculos y la elección de la potencia fotovoltaica se pasará a la instalación del sistema por lo cual se deberán seguir las indicaciones que dicta la normativa para realizar una correcta instalación conforme a las normas de seguridad e instalaciones eléctricas.

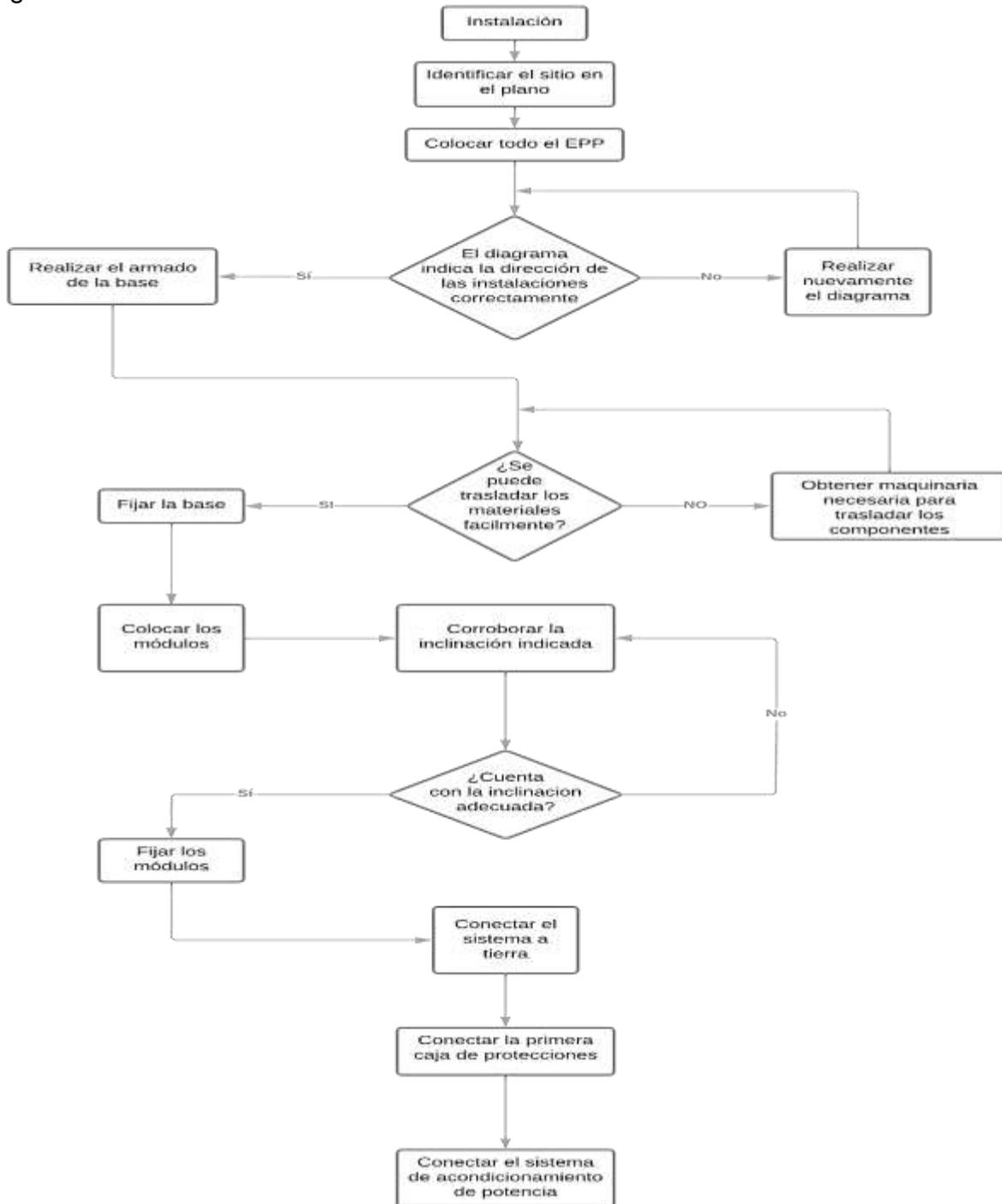


Diagrama 3 Instalación

Por último, se encuentra el sistema de protecciones el cual dependiendo del sistema a instalar se deberán realizar distintos cálculos para asegurar la integridad de la red eléctrica, así como del sistema y el cumplimiento del art 690 de la Nom-001-SEDE-VIGENTE.



Diagrama 4 Sub sistema de acondicionamiento de potencia

Capítulo 5

5.1 Marco jurídico organismos reguladores

5.1.1 Cenace

El Cenace (Centro nacional de certificación), establece medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

De forma general, la regulación del sector energético renovable sigue un esquema normativo que se basa principalmente en el Real Decreto-Ley 9/2013, en el que se adoptaron medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sector eléctrico; en la Ley 24/2013 de Sector Eléctrico que fijó las bases para la regulación del régimen económico de las renovables; y en el Real Decreto 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. Esta normativa se complementa con distintas órdenes. (Appa Renewable, 2018)

5.1.2 SENER (Secretaría de Energía)

SENER es un grupo privado de ingeniería y tecnología fundado en 1956 que ofrece soluciones de ingeniería a través de sus empresas como el sector Aeroespacial y de Ingeniería, además de participaciones industriales en compañías que trabajan en energía, a través de SENER Renewable Investments. (SENER, 2022)

5.1.3 EMA (Entidad Mexicana de Acreditación)

La entidad mexicana de acreditación, a.c. es la primera entidad de gestión privada en México que tiene como objetivo acreditar a los Organismos de la Evaluación de la Conformidad que son los laboratorios de ensayo, laboratorios de calibración, laboratorios clínicos, unidades de verificación (organismos de inspección) y organismos de certificación, Proveedores de Ensayos de Aptitud y a los Organismos Verificadores/Validadores de Emisión de Gases Efecto Invernadero (**OVV GEI**) Productores de Materiales de Referencia y la autorización de Buenas Prácticas de Laboratorio de la OCDE. (Ema, 2022)

5.1.4 CFE

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa pública de carácter social que provee energía eléctrica, servicio fundamental para el desarrollo de una nación. Es una empresa productiva del Estado, propiedad exclusiva del gobierno federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Goza de autonomía técnica, operativa y de gestión conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.(CFE, 2022a)

5.1.4.1 Reestructuración de CFE

La reestructuración de las subsidiarias de generación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) generó que la empresa se partiera en 12 empresas para distintos rubros con el fin de no crear un monopolio a través de la eléctrica nacional, afirmó su director general Manuel Bartlett.(Loredo Daniela, 2019)

5.1.5 Generación

CFE Generación IV tiene por objeto generar energía eléctrica mediante cualquier tecnología en territorio nacional, así como realizar las actividades de comercialización a que se refiere el artículo 45 de la Ley de la Industria Eléctrica, excepto la prestación del Suministro Eléctrico. Asimismo, podrá representar total o parcialmente a las Centrales Eléctricas en el Mercado Eléctrico Mayorista que tenga a su cargo, incluyendo aquellas que sean propiedad de terceros. En todo caso, deberá generar valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano como su propietario. (CFE, 2022b)

5.1.5.1 Generación distribuida

la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética. (Gob.mx, 2022a)

5.1.6 Comercialización

En el sector energético mexicano, la CFE tiene predominancia en el mercado eléctrico desde la generación hasta la comercialización de la energía eléctrica. Sin embargo, la EPE se encuentra ante una oportunidad de incrementar su competitividad en dicho sector; esto a raíz de la próxima apertura del mercado eléctrico mayorista. Esta oportunidad se basa en disminuir en el mediano plazo su participación en el área de generación de energía eléctrica e incrementar su participación en otras áreas donde la CFE todavía mantiene el monopolio de actividades. De esta manera, se presenta en esta sección los sectores que podría fortalecer la CFE para incrementar su competitividad en la industria eléctrica. (CIEP, 2016)

5.1.7 Control y despacho

La actualización del MOG (Manual de Organización General de la CFE) se llevó a cabo a través de una metodología de análisis integral, que permitió a cada una de las áreas corporativas, elaborar una Matriz de Congruencia Funcional para asegurar que sus

funciones estuvieran alineadas y consistentes con los marcos normativos que regulan la organización y el funcionamiento de la Empresa, a saber: la Ley de CFE, los Términos para la Estricta Separación Legal de la CFE, el Estatuto Orgánico, el Plan de Negocios y los Acuerdos del Consejo de Administración.

El MOG es un documento que resume las diversas etapas de vida institucional de la CFE y presenta el marco normativo aplicable, la estructura orgánica básica del Corporativo, así como los objetivos y funciones de las áreas que lo conforman, así como el organograma de los tres primeros niveles jerárquicos de la Empresa. (CFE, 2022c)

5.1.8 Transmisión y distribución

CFE Transmisión es una empresa productiva subsidiaria de la comisión Federal de Electricidad, la cual tiene por objeto realizar las actividades necesarias para prestar el servicio público de transmisión de energía eléctrica, así como llevar a cabo, entre otras actividades el financiamiento, la instalación, el mantenimiento, gestión, operación, y aplicación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público.

CFE Distribución brinda el servicio público de comercialización de energía eléctrica con estándares internacionales, calidad, seguridad y confiabilidad, a través de sus procesos clave:

- Servicios al cliente
- Medición, conexión y servicios
- Planeación o construcción
- Operación y mantenimiento

(CFE, 2022c)

5.1.9 CRE

La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es una dependencia de la Administración Pública Federal centralizada, con carácter de Órgano Regulador Coordinado en Materia Energética.

La CRE está dotada de autonomía técnica, operativa y de gestión, y cuenta con personalidad jurídica propia y capacidad para disponer de los ingresos que deriven de las contribuciones y contraprestaciones establecidas por los servicios que preste conforme a sus atribuciones y facultades. (Gob.Mx, 2022)

5.1.10 Marco regulatorio

En México, el marco legal que define la organización industrial del sector energético y las bases para su regulación está dado principalmente por lo que establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en sus artículos 25, 27 y 28, así como las leyes que se derivan o vinculan con dichas disposiciones. Este marco ha sido objeto de modificaciones a lo largo del tiempo, la última de ellas durante el 2008 cuando se discutieron de manera amplia una serie de iniciativas que derivaron en reformas a leyes ya existentes y con la expedición de otras nuevas. (Gob.mx, 2022b)

5.1.10.1 LIE (Ley de la Industria Eléctrica)

Esta Ley tiene por finalidad promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal, de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes. (Cámara de Diputados, 2022)

5.1.10.2 Ley de transición energética

La presente Ley tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos. (Gob.mx, 2022b)

5.2 Clasificación de centrales eléctricas

El nivel de electrificación en la CFE es del 98.95% de los habitantes. En 2019 tuvieron lugar 1,587 obras de electrificación rural; en 2020, 1,528; mientras que en 2021 fueron 3,466 las obras de electrificación rural. Su parque de generación está conformado por 158 centrales de generación de distintas tecnologías: ciclo combinado, termoeléctrica, hidroeléctrica, carboeléctrica, turbo gas, combustión interna, nucleoelectrica (Central Nuclear de Laguna Verde), geotermoeléctrica, Eolo eléctrica y solar fotovoltaica.

(Malte Neumeier, 2021)

5.2.1 Interconexiones de centrales eléctricas menores a .5MW

Permite la contratación y conexión a las Redes Generales de Distribución de generadores exentos y generadores que representen Centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW. En conformidad con el Acuerdo por el que se emite el Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW. Publicado en el DOF.

(CFE, 2022d)

5.2.1.1 Unidad de verificación

Una Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIE) es una entidad acreditada por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y aprobada por la Secretaría de Energía (SENER) para verificar y certificar si los sistemas fotovoltaicos (y otras instalaciones eléctricas) cumplen con las normas nacionales e internacionales aplicables (especialmente con la NOM-001-SEDE-2012).

(Oscar Ocampo, 2020)

5.3 Contratos

5.3.1 Net metering

En nuestro país, se implementaron los Modelos de Contratos de Contraprestación de la Comisión Federal de Electricidad y el “Net Metering”, que en conjunto buscan hacer más rentable el uso de la energía solar.

Esta es una forma de facturación en la que el consumidor genera y consume energía eléctrica en un mismo contrato de suministro, el contador de energía es ahora un medidor bidireccional y registra cuando se consume más de lo que se genera, se produce más de lo que se consume, el exceso de energía se inyecta a la red de suministro y el contador suma al total de la energía inyectada.

Al final del periodo, se realiza el neto de la energía consumida frente a la inyectada y se determina el resultado de este.

Anteriormente, la energía sobrante acumulada se perdía después de 12 meses, actualmente después de los nuevos lineamientos aplicados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la “electricidad extra” ahora es comprada por CFE a precio marginal local y varía dependiendo de la región.

En la siguiente gráfica te mostramos cómo funciona el Net Metering: aquí se muestra un uso energético típico y la producción típica de un sistema de paneles solares, ambos medidos por kilowatt y por tiempo durante el día.

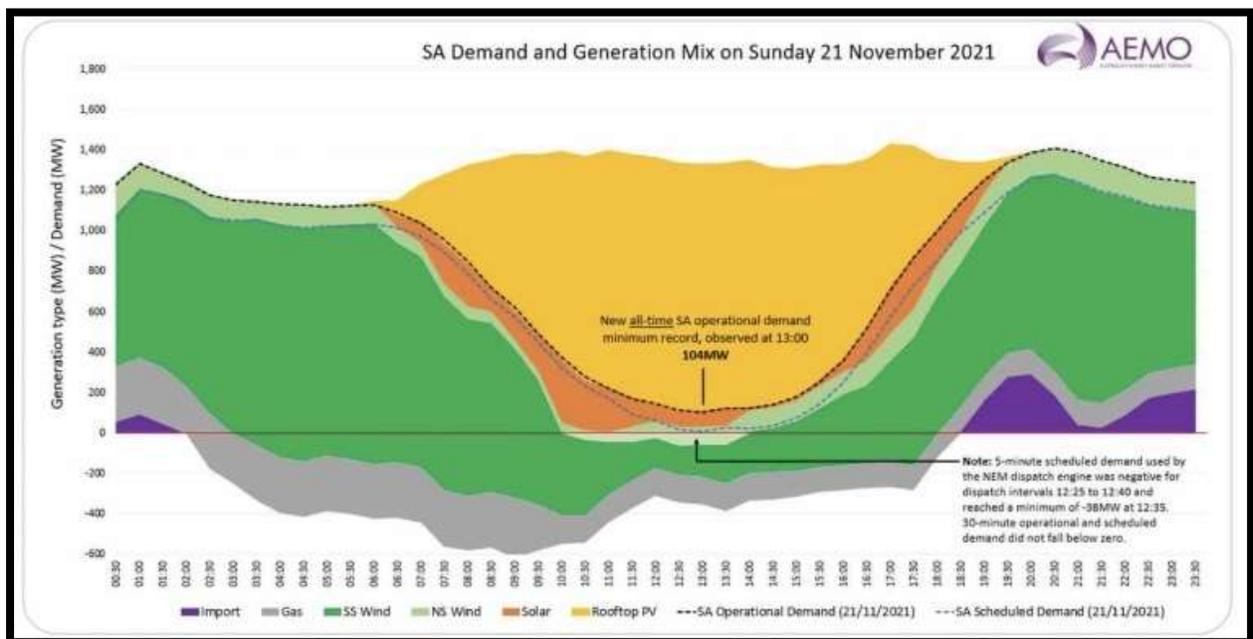


Figura 66 Curva típica de consumo eléctrico

(reneweconomy, 2021)

Como puedes observar, el consumo de energía (en naranja) es mínimo en las últimas horas de la noche, por la madrugada y una parte de la mañana. El consumo incrementa a lo largo del día llegando a su máximo alrededor de las 6 de la tarde.

Por otro lado, la producción energética de los paneles solares es mayor durante el día (línea verde), llegando a su máximo alrededor de las 12 horas. En el momento en el que la producción del sistema fotovoltaico supera el consumo, el medidor empieza a contabilizar la inyección de energía.

De acuerdo con la gráfica, el medidor contabiliza como consumo las áreas naranjas, mientras que el área verde no es tomada en cuenta, ya que el consumidor toma su energía del sistema fotovoltaico, y contabiliza como inyección el área azul.

En caso de haber consumido más de lo producido, el consumidor debe pagar al suministrador eléctrico la diferencia.

Si se ha producido más de lo consumido, el excedente se abona a la facturación del periodo siguiente. Este excedente se conoce como Bolsa de Energía y será vigente por los próximos 12 meses siguientes para su uso en futuras facturaciones.

El Modelo de Contraprestación de Net Metering incentiva a los usuarios a adquirir sistemas de generación de energías renovables ya que permite el 100% de aprovechamiento de la energía producida por el sistema, ya sea para el autoconsumo o para reducir el consumo siguiente.

Al final, los clientes de paneles solares terminan ganando siempre y esto es algo que debes comunicar claramente a tus posibles clientes, ya que el primer paso para poder disfrutar del Net Metering es instalando un sistema fotovoltaico.(Josephine, 2021 a)

5.3.2 Net Billing

Con el contrato Net Billing, el usuario con un sistema fotovoltaico que inyecta la energía de su sistema, tiene la posibilidad de venderla de manera independiente a lo consumido por la red eléctrica, es decir, no se compensa como en el esquema del Net Metering.



Figura 67 Distribución de facturación neta

(Josephine, 2021)

El usuario con el esquema Net Billing requiere dos medidores; El primero servirá para llevar el registro de la energía inyectada a la red y gracias al cual podrá facturar a la CFE por la energía entregada, el otro servirá para medir la electricidad que consume su casa o inmueble de la red eléctrica.

De esta manera, en cada período de facturación con el esquema Net Billing, la energía que inyectó el sistema fotovoltaico a la red eléctrica es pagada al Precio Marginal Local en el modo correspondiente al punto de interconexión; y por su lado, la energía que el usuario consume de la red eléctrica es cobrada por la CFE o compañía de luz al precio de la tarifa de su inmueble.

Gracias a este esquema es posible aprovechar al máximo la producción del sistema de paneles solares fotovoltaicos para cubrir parte del consumo eléctrico y reducir los costos de electricidad, esto también permite devolver los excedentes a la red eléctrica, aunque estos excedentes se paguen a una tarifa menor que la de consumo, de igual manera ayudan a bajar la cuenta.

Otra ventaja es que este mecanismo funciona en automático, de forma segura y sin necesidad de que intervenga el usuario.

Por otro lado, el usuario puede verificar de manera sencilla cuánta energía ha entregado su propio sistema a la red, esto a través de un medidor bidireccional que registra el consumo eléctrico y los excedentes de manera independiente.(CFE, 2022e)

5.4 Incentivo Fiscal Federal

Los contribuyentes ante el ISR (Ley del Impuesto Sobre la Renta), deducción de un proyecto Fotovoltaico es del 100 % en un solo ejercicio fiscal.

A partir del 2014, la ley de ISR en el Artículo 40 fracción XIII, permite realizar una deducción del 100% para la maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente.

Dicha deducción se verá reflejada desde los primeros 12 meses a partir de que el sistema fotovoltaico sea interconectado. Sin embargo, como toda deducción de impuestos, el Artículo 34 tiene algunos requerimientos para que dicha fracción sea aplicable:

La deducción se aplicará siempre y cuando, la maquinaria o equipo se encuentre en operación o funcionamiento durante un período mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción, salvo en los casos que se refiere el artículo 40 de esta misma ley.

La condición de deducción aplicable en el período mínimo de 5 años se puede dar en casos de pérdida por caso fortuito o fuerza mayor como establece el artículo 40 de la ISR. Ejemplos de estos podría ser un desastre natural o un robo.

Los contribuyentes que incumplan con el plazo mínimo deberán cubrir, en su caso, el impuesto correspondiente por la diferencia que resulte entre el monto deducido conforme a esta fracción y el monto que se debió deducir en cada ejercicio en los términos de este artículo o del artículo 40 de esta Ley, de no haberse aplicado la deducción del 100%.

Resultados

La siguiente investigación se clasifica en un proceso de 5 etapas

- 1) Dimensionamiento del lugar
- 2) Levantamiento del sitio
- 3) Elección de acondicionamiento de potencia
- 4) Instalación de los módulos
- 5) Instalación del sistema de acondicionamiento

Dimensionamiento del lugar

De acuerdo con el recibo de luz o el número de servicio de CFE se obtiene un promedio en los últimos 6 bimestres o un año de servicio eléctrico, el cual se promedia para sacar el consumo día, con una base de datos obtenidos del mismo recibo se realiza un cálculo en base al consumo aproximado que se tendrá.

En caso de no contar con un registro de CFE se realiza un cálculo sobre todos los gastos generados en la residencia acorde a los aparatos, los cuales presentan más consumo formado por el uso y son cargas mayores.

Esto se realiza para evitar el sobredimensionamiento erróneo del sistema lo cual provoca un retorno de inversión de los clientes mucho más largo que el pre establecido debido a que la energía sobrante que se manda a la red y que es contabilizada se para muy por debajo del precio del kilowatt con lo consecuente se aumenta de forma innecesaria el costo del sistema.

Siendo también otro error el dimensionar por debajo de las necesidades del cliente al no tomar una correcta lectura del consumo del mismo, ocasionando que no se cubra la demanda total del cliente y afectando todo el sistema debido a que estos cálculos se realiza para determinado arreglo.

Período	kWh	Importe	Pagos	Pendientes de Pago
del 04 FEB 22 al 07 ABR 22	2	\$56.00		\$867.00
del 07 DIC 21 al 04 FEB 22	2	\$56.00		
del 07 OCT 21 al 07 DIC 21	1	\$55.00		
del 06 AGO 21 al 07 OCT 21	88	\$96.00		
del 07 JUN 21 al 06 AGO 21	170	\$191.00		
del 07 ABR 21 al 07 JUN 21	179	\$201.00		
del 04 FEB 21 al 07 ABR 21	222	\$257.00		
del 07 DIC 20 al 04 FEB 21	242	\$281.00		
del 07 OCT 20 al 07 DIC 20	390	\$747.00		
del 06 AGO 20 al 07 OCT 20	406	\$803.00		
del 06 JUN 20 al 06 AGO 20	424	\$867.00		

Figura 68 Imagen propia

Bimestres	Consumo Kwh
1	3553
2	3553
3	3553
4	2251
5	2251
6	2251
Total	17412

consumo promedio bimestral	2902	Kwh Bimestral
----------------------------	------	---------------

consumo promedio día	48.36666667	Kwh Dia
----------------------	-------------	---------

Tabla 1. Promedio bimestral del consumo

Una vez teniendo el consumo día se procederá a realizar el cálculo de la potencia fotovoltaica necesaria en la vivienda para poder cubrir el gasto energético con la cantidad de módulos adecuada.

$$Pfv = \frac{Ec * Fs}{Hsp * \eta}$$

Potencia fotovoltaica

Ec. 1

De no realizarse correctamente este cálculo el sistema tendrá deficiencias al momento de alimentar a la carga estipulada generando un dimensionamiento mucho mayor o menor dependiendo de cómo sea el caso.

Este cálculo se realizará contando con los valores del consumo de energía diaria (Ec) y las horas solares pico (Hsp) que tendremos en la zona donde se instalará la cual se puede encontrar a través del Atmospheric Science Data Center, laboratorio de la NASA que cuenta con los datos de las horas de irradiancia solar promedio a nivel global.

Teniendo estos 2 valores muy importantes ya solo se requerirá con el Factor de seguridad (Fs) y la eficiencia del sistema (η); el factor de seguridad dependerá de que tanto se requiere sobredimensionar el sistema, en caso de querer abarcar todo el consumo y no solo una parte del sistema no abra necesidad de requerirlo solo en caso de que el cliente requiera instalar equipos que aumente su consumo en un futuro.

La eficiencia del sistema se deberá calcular teniendo en cuenta los factores que pudieran reducir la eficiencia del mismo como lo son el sombreado por nubosidad, días de lluvia, o la suciedad ocasionada por la acumulación de polvo el cual se dará según lo dicté el NREL (Laboratorio Nacional De Energías Renovables) dependiendo del sitio de instalación donde se planeé realizar la instalación, este dato puede llegar a variar por zonas del sitio.

Una vez obtenidos estos datos procedemos realizar el cálculo de la potencia fotovoltaica:

$$Pfv = \frac{48.36 \text{ kwh} * 1}{5.46h * .77}$$

Cálculo de potencia fotovoltaica

$$Pfv = 11.502Kw$$

Resultado de la potencia fotovoltaica

Una vez se tenga el consumo requerido se procede con la elección de la potencia fotovoltaica del módulo en este caso se tomará de ejemplo una potencia de 450w del módulo y procedemos al cálculo pasando primero los kilowatts a watts.

$$Mfv = \frac{(Pfv * 1000)}{450w}$$

Cálculo de número de módulos con respecto a la potencia fotovoltaica

Ec. 2

$$Mfv = \frac{(11.502kw * 1000)}{450w} \quad Mfv = 25.56 = 26 \text{ Modulos}$$

Con este dato podemos tener una idea de cuantos módulos se requerirán para cubrir la demanda energética del usuario y corroborar si es posible instalarlos en la ubicación asignada si generar algún riesgo.

Algo que suele ser común al momento de la elección de los módulos es la elección en base al costo y no a la calidad por lo cual muchas veces los módulos no duran la cantidad de años necesaria del sistema y por consecuencia dejan de funcionar naturalmente por su tiempo de vida estándar, incluso debido al desconocimiento los mismos instaladores llegan a comprar módulos de baja calidad por economizar en gastos lo cual supone un tiempo de vida menor y que hasta los módulos lleguen con microfracturas desde antes de la instalación por lo cual para la elección de esta parte es indispensable tener el conocimiento sobre las calidades de fabricación que maneja el proveedor.

Al contar con la cantidad de potencia que se va a instalar se deberá elegir el inversor adecuado teniendo en cuenta el arreglo que se desea instalar y que no rebase los parámetros de voltaje máximo de entrada del inversor, debido a que en caso de rebasarlo se generará un mal funcionamiento del inversor que puede llevar hasta el incendio del mismo.

Para esto se deberá realizar una corrección por temperaturas con la finalidad de no sobrepasar el voltaje de entrada máximo del inversor y el máximo emitido por la NOM-001-SEDE-2012 de 600V; Para el cálculo del voltaje se deberá tener un cálculo por la temperatura máxima y mínima histórica de la de los últimos 50 años la cual se podrá obtener a través del Servicio Meteorológico Nacional.

$$V_{pm \min} = V_{pm} [1 + (Temp \ Max + Temp \ Ambiente - Temp \ Stc) TkPmp]$$

voltaje de entrada mínimo

Ec.3

$$V_{oc \ Max} = V_{oc} [1 + (Temp \ Min - Temp \ Stc) TkVoc]$$

voltaje de entrada máximo

Ec. 4

Para ejemplificar se tomará las temperaturas máximas y mínimas de nuevo león monterrey donde se tiene una temperatura máxima de 48°C y mínima de -7.5°C y un módulo CS3W-450 de la marca Canadian Solar que cuentan con un coeficiente de

temperatura (Pmp) de $-0.36\%/^{\circ}\text{C}$., un coeficiente de temperatura (Voc) de $-0.29\%/^{\circ}\text{C}$. y un Vmp de 40.5V.

Una vez con estos datos obtenidos de la ficha técnica del módulo sustituiremos los valores de ambas formulas y podremos obtener el valor mínimo y máximo que tendremos.

$$V_{pm \text{ min}} = V_{pm} [1 + (Temp \text{ Max} + Temp \text{ Ambiente} - Temp \text{ Stc}) TkPmp]$$

Cálculo del voltaje de entrada máximo del inversor

Ec. 5

$$V_{pm \text{ min}} = 40.5V [1 + (48^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) - 0.36\%/^{\circ}\text{C}]$$

$$V_{pm \text{ min}} = 32.77v$$

$$V_{oc \text{ max}} = V_{oc} [1 + (Temp \text{ Min} - Temp \text{ Stc}) Tkvoc]$$

Voltaje en circuito abierto

Ec. 6

$$V_{oc \text{ max}} = 48.7V [1 + (-7.5^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) - 0.29\%/^{\circ}\text{C}]$$

$$V_{oc \text{ max}} = 53.28V$$

Con esto tendremos el voltaje máximo y mínimo que nos generaran los módulos fotovoltaicos y con esto podremos calcular cuantas cadenas podremos realizar sin sobrepasar el máximo voltaje permitido de un inversor, así como también alcanzar el voltaje permitido de un inversor para su funcionamiento.

Este cálculo suele ser ignorado por algunos instaladores que no cuentan con el completo conocimiento de la norma y ocasiona que lleguen a instalar más módulos de los que deberían en la instalación provocando una sobre tención permanente hacia el inversor induciendo un mal funcionamiento del inversor hasta un incendio del mismo.

$$\# \text{ Max de Modulos} \leq \frac{V_{\text{max del inversor}}}{V_{\text{max del Voc}}}$$

Cálculo de número máximo de módulos

Ec.7

$$\# \text{ Min de Modulos} \geq \frac{V_{\text{min del MPPT}}}{V_{\text{min del MFV}}}$$

Cálculo de número mínimo de módulos

Ec. 8

Levantamiento del sitio

Se diagnostica la imagen satelital para saber la ubicación exacta y poder acudir al sitio y corroborar si se cuenta con una orientación adecuada o si es posible generar una inclinación de mayor generación para los módulos.

Se tiene que planificar el sitio acotando medidas del espacio disponible para aplicación del sistema fotovoltaico, en esta sección es donde se planifican las sombras existentes para realizar los cálculos de corrección por sombreado, se realiza un análisis sobre la inclinación del lugar para hacer un ajuste en la base de la estructura y ver que la inclinación tenga dirección hacia el ecuador.

Esto debido para evitar sombreados que puedan reducir la eficiencia del sistema o la generación de puntos calientes, regularmente estas limitaciones son ignoradas por los “hombres panel” que tienden a colocar el sistema sin importar las fallas que puedan generar por realizar un mal dimensionamiento del sitio y querer cubrir la demanda a pesar de ello.



Figura 69 Imagen propia

En caso de no contar con la orientación e inclinación ideal deberá generarse un ajuste por orientación e inclinación a través de una herramienta proporcionada por el NREL llamada PVWATTS la cual nos apoya con la estimación de la energía producida por un sistema fotovoltaico en distintas orientaciones.

De ser el caso se realizará una corrección de la cantidad de módulos necesarios dependiendo de la orientación e inclinación del sistema fotovoltaico. Un error común de los instaladores es no realizar esta corrección lo cual generara los primeros problemas que se mencionaron de no cubrir la demanda de energía del cliente, con esto dando pie a una menor generación debido a una disminución por la orientación e inclinación del sistema en caso de que el sistema se haya instalado de forma diferente.

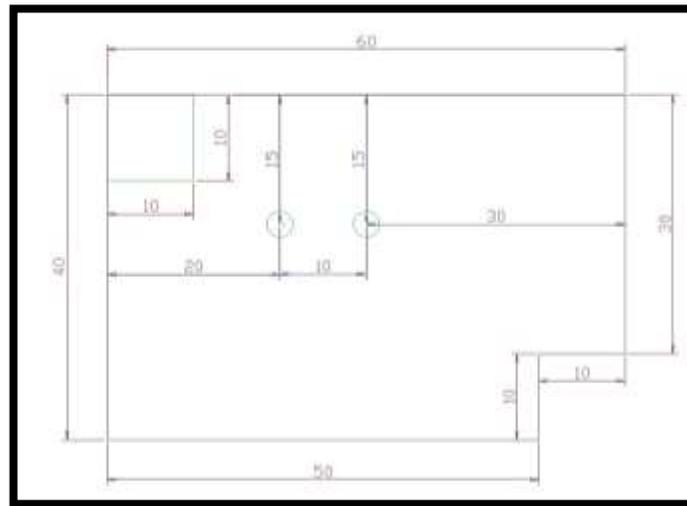


Figura 70 Imagen propia

En el siguiente ejemplo se muestra el techo de concreto del inmueble para definir el posicionamiento de los componentes estructurales de la instalación y de las posibles sombras que pueden llegar a afectar el sistema de acuerdo a un cálculo y sistema de acomodo modular, en donde la estructura no presente riesgos y pueda identificar fácilmente los canales en los cuales pasan los conductores de corriente para energizar el inmueble.

Muchas veces no se toma en cuenta los obstáculos que se encuentren en la superficie donde se realizara la instalación generando sombras permanentes en el sistema las cuales al generar resistencia en las celdas se terminaran transformando en puntos calientes que de no ser cambiados derivaran en un incendio en la instalación.

Así como también no se llegan a dejar espacios por donde poder pasar con seguridad para poder realizar el mantenimiento a las instalaciones eléctricas ni la limpieza de los módulos, abarcando toda la zona y llenándola con módulos lo cual genera que sea imposible ingresar al área para realizar cualquier tipo de actividad en el sistema fotovoltaico tanto para los instaladores como para los dueños del sistema.



Figura 71 Imagen propia

Dependiendo de la inclinación del techo es como se va a instalar la estructura sabiendo la latitud de sitio, la inclinación y la separación entre los módulos y el techo, una vez concluyendo que el techo es apto para la instalación.

En caso de tener un techo con una inclinación muy pronunciada el arreglo se deberá de instalar arras de suelo, asegurando el equipo contra corrientes de viento en caso de instalarse en una zona despejada.

Muchas veces los instaladores no llegan a tomar en cuenta esta parte por lo cual no hacen un correcto anclaje a las instalaciones, por ende, ocasionan que el sistema se

desprenda fácilmente de la superficie donde fue instalado y se eleve por las fuerzas del viento del sitio ocasionando daños a terceros los cuales pueden llegar a ser fatales.

Todo lo anterior ocasionado por no conocer sobre las corrientes de aire de la zona ni cuanto pueden llegar a generar de fuerza a la hora de levantar un sistema fotovoltaico el cual al no tener la correcta fijación no tendrá forma de mantenerse fijo en el área de instalación



Figura 72 Imagen propia

Una vez identificado el sitio y que este cuenta con el espacio requerido, las distancias a recorrer de los conductores y las ubicaciones de los componentes se deberá seguir con el dimensionamiento del sistema para corroborar que las protecciones son correctas dependiendo de la cantidad de cadenas que se realizaran según la distribución elegida.

Teniendo en cuenta que se requiere un sistema con 26 módulos se deberá corroborar cuantos módulos se pueden conectar en serie sin exceder el límite establecido por el inversor y la norma.

$$\# \text{ Max de Modulos} \leq \frac{V_{\text{max del inversor}}}{V_{\text{max del Voc}}}$$

Cálculo de Número máximo de módulos conectados

Ec.9

$$\# \text{ Min de Modulos} \geq \frac{V_{\text{min del MPPT}}}{V_{\text{min del MFV}}}$$

Cálculo de Número mínimo de módulos conectados

Ec.10

Teniendo ya los voltajes mínimos y máximo de los módulos ($V_{pm \text{ min}}=32.77v$ $V_{oc \text{ max}} = 53.28V$) se pueden realizar de forma correcta los cálculos necesarios para tener el conocimiento de la cantidad de circuitos en serie y paralelo que podemos realizar dando el siguiente resultado:

$$\# \text{ Max de Modulos} \leq \frac{600V}{53.28V} = 11.26 = 11 \text{ Modulos}$$

Número máximo de módulos conectados

$$\# \text{ Min de Modulos} \geq \frac{260V}{32.77V} = 7.93 = 8 \text{ modulos}$$

Número mínimo de módulos conectados

Estos cálculos son de suma importancia realizarlos, de no hacerlo los módulos ocasionaran una falla en el inversor que va desde un mal funcionamiento de días muy calurosos por no alcanzar el mínimo voltaje de arranque del inversor como una sobretensión ocasionada por una baja de las temperaturas que puede llegar a generar desde una falta a la normativa hasta un incendio en caso de que el inversor no soporte el exceso de voltaje.

$$\# \text{ Max de Modulos} \leq \frac{600V}{48.7V} = 12.32 = 12 \text{ Modulos}$$

Número máximo de módulos conectados sin corrección por temperatura

$$\# \text{ Min de Modulos} \geq \frac{260V}{40.5V} = 6.41 = 7 \text{ modulos}$$

Número mínimo de módulos conectados sin corrección por temperatura

Cálculos erróneos sin corrección por temperatura

Esto suele darse por que los hombres panel; únicamente calculan la cantidad de módulos sin tener en cuenta las temperaturas lo cual genera problemas cuando estas temperaturas suelen cambiar con el paso del tiempo y generan que el sistema sobrepase o no llegue a la cantidad de voltaje necesaria para su correcto funcionamiento.

Con los datos correctos se puede generar un arreglo necesario para arrancar un inversor de cadena, para ejemplificar se tomó un Fronius Primo 12.5 208-240 600v el cual requiere de una corriente de entrada de 33.0/18.0 A para cada uno de sus MPPT, un rango de voltaje operacional de 80v a 600v y un rango de operación del MPPT de 260v a 480v.

Por la cantidad de módulos y el rango del MPPT se requiere realizar un arreglo de 2 paneles de 9 módulos y 1 panel de 8 lo cual no rebasa el máximo de módulos conectados en serie y cubrimos el límite mínimo de módulos para el funcionamiento del MPPT dándonos un Voc max de 479.52v en el día más frio y un Vmp min de 262.16v en el día más caluroso con lo cual no se tendría ningún problema de que rebase el límite de 600v o el mínimo del funcionamiento del MPPT de 260v.

Estos cálculos suelen ser omitidos o incluso desconocidos por los instaladores novatos que no tienen en cuenta como es el funcionamiento de un MPPT y desconocen del voltaje que requiere para su correcto funcionamiento y que de no ser realizado, el dispositivo no genera de forma correcta la energía que se requiere generando la energía del eslabón más débil del arreglo por lo cual se pierde el aprovechamiento del MPPT es por esto que también se tienen que prestar atención al cálculo de este dispositivo para poder así estar contando con la cantidad de salidas adecuadas para conectar directamente al MPPT sin requerir de una caja de combinación o protección según lo indica la excepción del Art. 690-9 de la NOM-001-SEDE-2012.

Sin embargo, la norma al no ser limitativa nos permite utilizar una protección la cual se suele usar para evitar el gasto innecesario de cable por lo cual se podría conectar una caja de combinación para conectar un paralelo de las dos cadenas de 9 módulos esto con la finalidad de sacar una sola línea al inversor y no 2 esto claro sin rebasar el límite que imponen los MPPT de ampacidad en el conductor.

Una vez elegido el arreglo adecuado para la instalación se deberá calcular la protección contra sobre corriente para proteger al sistema; esto suele ser omitido por el hombre panel el cual solo suele calcular en base al Imp de los módulos o usar el Isc directamente, sin embargo, se debe realizar un cálculo para obtener la corriente máxima del circuito fuente a través de la siguiente formula:

$$\text{Corriente Maxima}(I_{max}) = 125\% * I_{sc} \text{ del modulo} * \# \text{ de paralelos}$$

Ecuación del Cálculo de corriente máxima

Ec.11

$$\text{Corriente Maxima}(I_{max}) = 125\% * 11.65A * 2 \text{ paralelos}$$

Cálculo de corriente máxima por la corriente en corto circuito

$$\text{Corriente Maxima}(I_{max}) = 29.125^a$$

Obteniendo la corriente máxima que pasara por el circuito se puede calcular el DPSC del sistema en base a la siguiente formula:

$$DPSC = 125\% * \text{Corriente Maxima Fotovoltaica}(I_{max})$$

Ecuación para calcular el dispositivo contra sobre corriente

Ec.12

$$DPSC = 125\% * 29.125A$$

cálculo del dispositivo contra sobre corriente

$$DPSC = 36.4A$$

En el caso de la cadena restante se realizará el mismo procedimiento sin añadir paralelos debido a que solo se está hablando de una sola cadena:

$$\text{Corriente Maxima}(I_{max}) = 125\% * I_{sc} \text{ del modulo} * \# \text{ de paralelos}$$

Ecuación para calcular el dispositivo contra sobre corriente para el numero de paralelos

Ec.13

$$\text{Corriente Maxima}(I_{max}) = 125\% * 11.65A * 1 \text{ paralelos}$$

$$\text{Corriente Maxima (Imax)} = 14.56A$$

$$DPSC = 125\% * \text{Corriente Maxima Fotovoltaica (Imax)}$$

$$DPSC = 125\% * 14.56A$$

$$DPSC = 18.5A$$

Y con esto se obtendrá el valor del DPSC correspondiente a esa sección de la instalación; de no realizar estos cálculos, el valor del DPSC será erróneo lo cual generará que una corriente mayor llegue hasta el Inversor y se dañe generando desde un mal funcionamiento hasta un incendio del equipo.

Este 125% se utiliza como una protección ante las variaciones de corriente que tendremos debido a la radiación que le puede llegar al módulo alrededor del año, debido a que en promedio se tienen $1000w/m^2$ sin embargo esa radiación puede llegar a subir dependiendo de la zona y la época del año dando paso a un aumento de la corriente que no se puede controlar.

Un error de un hombre panel es colocar una protección sin realizar los cálculos correspondientes generando un fallo que se verá cuando la radiación aumente en el lugar.

Después de la colocación de los módulos se tiene que realizar el dimensionamiento de los conductores, para el cual se tendrán que realizar 2 cálculos, esto para corroborar si es el indicado calculando primero la ampacidad del conductor a través de la opción 1:

Opción 1

$$\text{Ampacidad} = (\text{Isc del modulo} * 125\% * \# \text{ de cadena}) * 125\%$$

Ecuación del cálculo para el calibre del conductor

Ec.14

$$\text{Ampacidad} = (11.65 * 125\% * 1 \text{ cadena}) * 125\%$$

calibre del conductor

$$\text{Ampacidad} = 18.20A$$

Después se tendrá que realizar un segundo cálculo de las condiciones de uso teniendo en cuenta el número de circuitos de fuente (1 circuito), la temperatura máxima (Temperatura ambiente máxima de 40°), la distancia entre la superficie y la canalización (1 pulgada según indica la NOM-001-SEDE-2012 Tabla 310-15(b)(3)(c) para no añadir sumador de temperatura a la temperatura ambiente), el factor de corrección por temperatura (Haciendo uso de la Tabla 310-15(b)(2)(a). de la NOM-001-SEDE-2012 tomando el valor de 90°c de rango de temperatura del conductor y la temperatura ambiente máxima del lugar) y el ajuste por agrupamiento (No aplica al ser únicamente 2 conductores que llevan corriente según dicta la NOM-001-SEDE-2012 Tabla 310-15(b)(3)(a)).

Un error muy común es hacer caso omiso de este cálculo así como también no contar con los datos correcto del mismo, al igual que cometer errores como no añadir una pulgada de separación de la losa a la canalización ocasionando que se deba añadir el sumador de temperaturas lo cual nos quita eficiencia del sistema innecesariamente o que incluso no se añada el dato al momento de realizar el cálculo del mismo, o también que el instalador confunda la temperatura histórica del sitio con la máxima generando unos rangos de temperatura inexistentes que ocasionaran un cálculo erróneo del sistema.

Es por esta razón que se deberán de tener en cuenta los datos para realizar los cálculos y que estos mismos sean corroborados de su veracidad para evitar problemas futuros en la instalación.

Siguiendo estas indicaciones se pueden obtenerlos valores necesarios para realizar la Opción 2:

$$I_{max} = (I_{sc \text{ del modulo}} * 125\% * \# \text{ de cadena}) * 125\%$$

Ecuación del cálculo para el calibre del conductor

Ec.15

$$Ampacidad = 18.20A/0.91$$

$$Ampacidad = 20A$$

Observando estos dos cálculos podemos deducir que la opción 2 nos muestra una mayor ampacidad de los conductores, por lo cual debe ser dimensionado con la corriente de la opción; eligiendo un conductor con aislamiento mayor a 90°C debido a las condiciones de operación a las que se encuentra expuesto.

Revisando la Tabla 310-15-(B)(16) en la columna de 90°C del cable de cobre podemos comprobar que el conductor 14AWG USE-2 cumple con los requisitos exigidos para el conductor que se requiere.

$$25A \text{ (Ampacidad 14 AWG } 90^{\circ}C) \geq 20A$$

Ampacidad del conductor

Como se puede ver, la falta de este cálculo generara una errónea elección del conductor eligiendo un conductor de menor calibre y condiciones de operación lo cual generara un sobre calentamiento del conductor provocando el derretimiento del mismo y provocando desde fallas a tierra como un corto circuito en los conductores derivando en un incendio del sistema.

Al igual que la falta de conocimiento de los cálculos también es muy común el desconocimiento de la nomenclatura de los conductores generando que se realice una elección del conductor errónea colocando otro cable que no sea fotovoltaico o de uso rudo (USE-2) en la instalación sin tener en cuenta que para el circuito no se puede utilizar otro tipo de cable por las condiciones que presenta realizando el error de colocar conductor THHW, alu-cobre o cualquier otro conductor el cual no cuenta con las condiciones para su uso en exteriores.

Este error lo suelen cometer los instaladores al momento de seleccionar el cable de menor costo o incluso no dimensionar bien la cantidad de cable que se va a requerir para la instalación por lo cual usualmente utilizan otro tipo de cable para completar los tramos faltantes de la instalación generando un daño del cable que con el tiempo derivara en los fallos mencionados anteriormente.

Para las terminales se deberá tener en cuenta la temperatura del conductor por lo cual se deberá contar con terminales que trabajen a la misma temperatura, en caso contrario

se usará un límite de 60°C según nos indica la NOM-001-SEDE-2012, tomando en cuenta esto se cambiará el conductor anterior por uno con un límite de temperatura similar y que tiene la ampacidad necesaria para cubrir al anterior conductor elegido.

En este ejemplo se tendría que usar un calibre mayor para ocupar el lugar del anterior conductor esto debido al cambio de la temperatura de operación.

$$20A \text{ (Ampacidad 12 AWG 60°C)} \geq 20A$$

Ampacidad del conductor con respecto a la temperatura de 60°

Tomando el valor se tomará el mismo calibre de conductor, pero para una temperatura de 90°C

$$30A \text{ (Ampacidad 12 AWG 90°C)} \geq 20A$$

Ampacidad del conductor con respecto a la temperatura de 90°

Esto se realizaría únicamente en caso de no contar con la temperatura de operación de las terminales; ahora para calcular las terminales se deberá proteger al conductor en condiciones de funcionamiento por lo cual se realizará el siguiente cálculo para comprobar si la terminal protege al conductor tomando la temperatura ambiente máxima de 40°C como se indica en la Tabla 310-15(b)(2)(a). de la NOM-001-SEDE-2012 factores de corrección.

$$30A \text{ (Ampacidad 12 AWG 90°C)} * 0.91 \geq 20A$$

Ampacidad del conductor con respecto a la temperatura de 90°

$$27.3A \geq 20A$$

Con lo cual podemos comprobar que el conductor del circuito fuente se encuentra protegido, este procedimiento se tiene que realizar 2 veces tanto en el conductor del circuito fuente como en el conductor del circuito de salida para poder asegurar la integridad de la instalación fotovoltaica.

La mayoría de estos cálculos son irrelevantes para el hombre panel quien no solo omitirá todos estos procesos si no que de igual manera no se dará a la tarea de pensar en los riesgos que puede ocasionar por evitar las medidas correctas de instalación.

Para el conductor de salida del inversor se deberá realizar de igual manera el cálculo pero recordando que ahora se estará trabajando en CA por lo cual el conductor que se deberá usar será el THHW y los DPSC deberán ser para CA siempre dentro de una canalización sin pasar del factor de relleno del 40% indicado por la tabla del fabricante del tubo que se utilice; en caso de no contar con la ficha técnica se requerirá ir a la tabla del Art 344 de la norma en la sección del tubo que se vaya a ocupar y basarse en las medidas que se indique siendo el mismo caso para el cable si se desconoce el tamaño de la circunferencia del cable.

Una vez realizados estos cálculos y se hayan tomado las medidas de seguridad correspondientes se pasará a la instalación en el sitio donde antes de comenzar se tendrán que colocar el equipo de protección personal (EPP) y se revisara el diagrama de indicaciones.

Este equipo es indispensable para cualquier instalación debido a los riesgos que se generan al instalar módulos fotovoltaicos y en el mejor de los casos los trabajadores sufren de lesiones moderadas por falta de su EPP mientras que en el peor de los casos lamentablemente muchos instaladores han fallecido por hacer caso omiso de estas normas de seguridad.

Los riesgos que se generan en una instalación fotovoltaica para el instalador van desde el riesgo de electrocución del personal, la caída accidental del mismo en trabas en altura, así como también la insolación de los trabajadores o la caída de objetos contundentes sobre los trabajadores.



Figura 73 Imagen propia

Los materiales se trasladan de manera segura a donde serán instalados, teniendo en cuenta la fragilidad en la cual estos materiales pueden ser dañados por caídas o un mal manejo de los módulos por los instaladores causando microfisuras que se convertirán en puntos calientes con el paso del tiempo las cuales dejarán inservibles los módulos y se tendrán que cambiar para evitar un incendio en la locación y que afecte a los demás módulos que se encuentren correctamente funcionando.

Los materiales utilizados deberán de contar con certificaciones que avalen su uso de forma segura en las instalaciones según indique la NOM-001-SEDE-2012 así como deberá ser de buena calidad esto con la finalidad de evitar accidentes producto del uso de equipos, módulos, cableado o protecciones que no cuenten con estándares de calidad en su proceso.

Muchas veces los instaladores que no cuentan con el conocimiento de la norma y compran equipos empleando el factor económico de los mismos sin darse cuenta de que no tienen las certificaciones requeridas por la norma y al momento de instalar en una residencia y querer interconectar a la red, los encargados de realizar la interconexión por CFE no permiten la interconexión de estos equipos por la falta de la documentación necesaria ocasionando que los instaladores cuenten con este gran gasto el cual tendrán

que solucionar ellos por su cuenta de manera monetaria siendo este el mejor de los casos.

En el peor de los casos el equipo no tendrá una calidad de vida correcta y funcional o no contará con las protecciones necesarias y en caso de algún siniestro dejará de funcionar antes del tiempo estipulado generando otro gasto para el instalador por tratar de economizar en el equipo o por simplemente desconocer del mismo.



Figura 74 Imagen propia

Una vez que todo lo indispensable está colocado en el lugar correcto para la instalación se comienza con la instalación de la estructura fotovoltaica, únicamente podrán instalar las personas que se encuentren calificadas para el trabajo según lo indica el Art 100 de la NOM-001-SEDE-2012 “Requisitos De Instalaciones Eléctricas” esto con la finalidad de evitar accidentes.

Dependiendo del tipo de techo o elevación donde se va a instalar se colocará la estructura que soportara los módulos, esto también va a determinar si se atornilla la estructura a la base o necesita algún otro tipo de anclaje para que se mantenga estática, sólida y no presente algún fallo que comprometa la seguridad tanto del generador como del instalador o del usuario.



Figura 75 Imagen propia

Una vez que la estructura ha sido exitosamente instalada y han sido colocados los módulos fotovoltaicos, se realiza la puesta a tierra para proteger la instalación de una falla de corriente o una sobretensión.



Figura 76 Imagen propia

La puesta a tierra tiene el propósito de conducir, drenar y disipar al planeta tierra una corriente no deseada las cuales se pueden dar de una forma natural como también por manipulación de las líneas de tención por parte de trabajadores de CFE.

Esto suele ser una falla muy importante para la instalación e ignorado por los instaladores y es que se tiene que corroborar que la instalación está bien conectada a tierra lo cual en muchas ocasiones el electrodo de puesta a tierra colocado en la vivienda no esta correctamente instalado y los instaladores no corroboran que este cuente con la normativa actual vista en el art. 690-47 de la NOM-001-SEDE-2012.

Al no estar correctamente instalada el sistema de puesta a tierra de la residencia y por lo mismo de la instalación generará que este sea vulnerable contra sobretensiones de distintos tipos provocando un fallo en el inversor y en los componentes del sistema sin que se pueda hacer algo para evitarlo por lo cual se tendrá que cambiar todo el equipo afectado por la sobretensión.

El inversor instalado deberá contar por la NOM-001-SEDE-2012 con la función adicional de desconectar el sistema al ocurrir una falla a tierra el sistema activando el GFDI; Este debe desconectar el inversor del punto de interconexión con la finalidad de proteger al sistema.

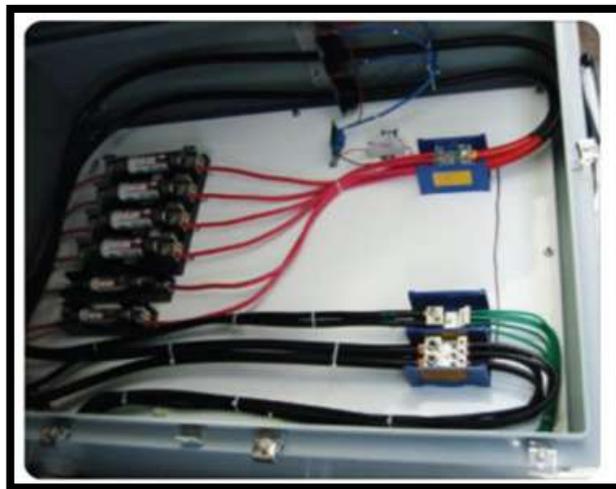


Figura 77 Imagen propia

Ya que las protecciones han sido acopladas para mantener una defensa que ayude a no comprometer al sistema se debe seleccionar un tipo de dispositivo el cual convierta la energía que genera el sistema fotovoltaico en energía utilizable, para esto se requiere un inversor el cual se debe seleccionar dependiendo la potencia y el número de módulos

y cadenas que se tengan. Ya sea un inversor de cadena o un conjunto de micro inversores.

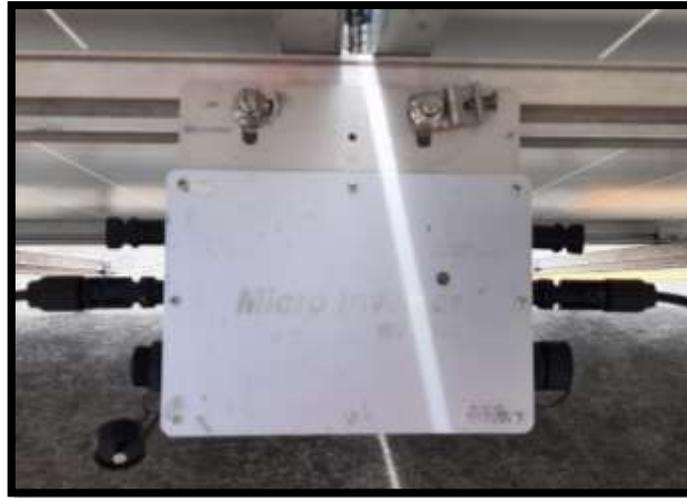


Figura 78 Imagen propia

Ya que el sistema está conectado y las protecciones han sido instaladas estará listo para conectar al punto de interconexión el cual va a ser el punto de acoplamiento común entre el sistema de generación; para esto se tendrá que calcular que la corriente de alimentación no exceda la barra de ampacidad.

Dependiendo del sistema se tomará en cuenta una de dos opciones, un máximo de 100% de ampacidad de barra o un máximo de 120% de ampacidad de barra esto según lo indica el NEC 705.12 (D)(2)(3)(a) y el 705.12 (D)(2)(3)(b) por lo tanto se tendrá que realizar un cálculo de ampacidad de barras a través de las siguientes formulas dependiendo de lo que se quiera calcular:

$$I_{max \text{ de inversores}} \leq \frac{\text{ampacidad de barras} - DPSC \text{ principal}}{125\%}$$

Cálculo del 100% de ampacidad

Ec. 16

$$I_{max \text{ de inversor}} \leq \frac{[(\text{ampacidad de barras} * 120\%) - DPSC \text{ principal}]}{125\%}$$

Cálculo del 120% de ampacidad

Para este ejemplo se calculará el máximo del 100% de la ampacidad de la barra donde se tomará un barraje de 225A y un interruptor principal de 225A con un voltaje de funcionamiento del inversor de 240v para poder corroborar la potencia máxima que podremos interconectar al tablero desde el inversor.

$$I_{max \text{ de inversores}} \leq \frac{\text{ampacidad de barras} - DPSC \text{ principal}}{125\%}$$

Corriente máxima para conectar del tablero al inversor.

Ec.18

$$I_{max \text{ de inversores}} \leq \frac{225A - 225A}{125\%}$$

Corriente máxima de los inversores

$$I_{max \text{ de inversores}} \leq 20A$$

$$\text{Potencia max} = 20A * 240V = \text{Hasta } 4800w$$

Para una ampacidad del 120% se usará la segunda formula con los mismos datos para comprobar la ampacidad:

$$I_{max \text{ de inversor}} \leq \frac{[(\text{ampacidad de barras} * 120\%) - DPSC \text{ principal}]}{125\%}$$

Corriente máxima de para el tablero con corrección del dispositivo contra sobre corriente

Ec.19

$$I_{max \text{ de inversor}} \leq \frac{[(225A * 120\%) - 200A]}{125\%}$$

$$I_{max \text{ de inversor}} \leq 56A$$

$$\text{Potencia max} = 56A * 240V = \text{Hasta } 13440w$$

A través de los anteriores cálculos evitaremos algún accidente dentro de nuestro tablero, así como se elegirá el tipo de cálculo según lo requiera la instalación.

Este se elegirá dependiendo si existen o no corrientes continuas que requieran de un consumo continuo sin descanso de la corriente; Una ampacidad del 100% se dará cuando la corriente de alimentación de las fuentes es continua (C.C) y por lo tanto se deberán calcular los DPSC para que no lleguen al 100% de su capacidad, esto debido a que los DPSC no están destinados a trabajar por más de 3 horas al 100% de su capacidad en cambio con una ampacidad del 120% se colocara cuando el consumo no es continuo por lo cual los DPSC no estarán trabajando al 100% de su capacidad por más de 3 horas y tendrá descanso del paso máximo de la corriente a través del mismo.

Con lo anterior calculado ya, se puede interconectar a la red después de que haya pasado el trámite de interconexión de CFE.



Figura 79 Imagen propia

CONCLUSIONES

Debido a que se tienen malas referencias sobre los sistemas fotovoltaicos por causa de las malas instalaciones y antecedentes los cuales no son de mucha ayuda para su recomendación, así como también muchas de las tecnologías no son las más idóneas para una instalación. Su tiempo de vida es muy corto o los materiales que se requieren para la instalación son de muy baja calidad, ya que muchos de estos son para economizar gastos y no son del material que se requiere. Esto lo realizan las empresas para aumentar la producción de sus productos, sumado al nulo conocimiento de los instaladores sobre los componentes de una instalación fotovoltaica provoca la aparición de fallas en sus en el sistema.

Con el conocimiento adecuado se pueden localizar las fallas que se encuentran generalmente en las instalaciones fotovoltaicas o en el mismo dimensionamiento y diseño del sistema, las cuales se pueden evaluar y verificar mediante la constatación ocular, comprobación, o la examinación de los documentos y cálculos para garantizar la seguridad de las personas e instalaciones destinadas al uso de la energía eléctrica. Las certificaciones y apelaciones de la ley y las normas hacen que un sistema pueda ser funcional y seguro para los instaladores de manera que estos sean capacitados para poder realizar la instalación correctamente

Las garantías que se deben ofrecer dependiendo de la calidad del material que se compre dependiendo del proveedor, el tiempo de vida que estipule el fabricante y el mantenimiento que se dé al generador, así como los factores ambientales, todos estos son factores los cuales van a determinar el tiempo de durabilidad de un sistema y su generación anual, así como su calidad se verá reflejada en el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico la cual afectara al no ser la adecuada.

Los errores en los cálculos para la elección del calibre del conductor que se utilizaran en la instalación de los paneles con la conexión hacia el inversor provocará un aumento de la temperatura derritiendo así el material utilizado como aislante térmico; otro error es el cálculo de la cantidad de módulos que puede soportar un inversor, generando desde un

mal funcionamiento hasta un incendio del equipo si no se realizan los factores de corrección por temperaturas.

el exceso de cable utilizado para la conexión de los componentes, cuando sobra material y en vez de delimitarlo con la cantidad correcta generaran calentamiento sobre la corriente del circuito y fallas en la tensión del sistema.

También existen los malos cálculos para elegir el calibre del conductor estos pueden causar una falla eléctrica y poner en riesgo la instalación o hasta la misma estructura generando un incendio tipo C a gran escala de un inmueble si no es detectado a tiempo este tipo de fallas puede ser perjudicial no solo para el sistema y para la residencia sino también para personal que de mantenimiento y residentes de esta.

Muchos de los descuidos los cuales hacen la informalidad de las instalaciones son los arreglos caseros o modificaciones que hacen con materiales distintos los mismos que generan par galvánico. Las alteraciones de los materiales como son la unión de dos rieles sin un coplee y son unidos por medio de la soldadura causan fallas estructurales o debilitaciones en estos componentes. Es por esto el uso de estructuras certificadas para los distintos tipos de techo para la instalación, así como el material el cual estén hechas.

Las cuestiones de mantenimiento y limpieza de los módulos, son muy recurrentes a ocasionar fallas debido a que son mal realizados, esto porque no se realiza en el tiempo y forma. Es muy importante tener la capacitación y experiencia necesaria dada por un organismo certificador adecuado para cada uno de los pasos a realizar adecuadamente en cada sitio, así también contar con una revisión por parte del personal calificado que corrobore un correcto funcionamiento de la instalación del sistema fotovoltaico interconectado a la red.

Es necesario conocer el principio del sistema, su funcionamiento y la capacitación para el diseño y dimensionamiento de un sistema para así conocer e identificar las fallas que esté presente ya sea por un mal cálculo de diseño, una incorrecta técnica de manipulación y traslado del material de instalación y generación, y determinar los factores técnicos, de implementación o ambientales que afecten el correcto funcionamiento en general de los dispositivos.

Hablando de un mercado estadístico o estudios puntuales los cuales indiquen una tendencia o directriz sobre los problemas de calidad y de acondicionamiento para el sector solar mexicano no existen, no hay un estudio el cual indique un porcentaje de efectividad sobre los sistemas fotovoltaicos debió a que el mercado solar en México es aún muy prematuro y no tiene un desarrollo tan avanzado como en algunos otros más desarrollados.

En México los organismos reguladores los cuales financian actividades productoras y generadoras de energía han creado formas para financiarlas mediante esquemas de certificación de productos o conocimientos, sin embargo, estas regulaciones se requieren complementar con unidades de comprobación que exijan productos de alta calidad y certificados.

Referencias

Acosta, C., Carvente–Muñoz, O., Peñuñuri–Anguiano, F., Zambrano–Arjona, M., & Rivadeneyra–Gutiérrez, G. (2018). Annual distribution of the Sun's angular positions, study at 21 degrees of latitude. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 35(1).

<https://doi.org/10.23967/j.rimni.2018.12.003>

Aguilar, D. (2020). *magazine España*. Tecnología Heterojunction (HJT): ¿Está Lista Para Dar El Salto a Proyectos “Utility Scale”?Pv. <https://www.pv-magazine.es/2020/06/04/tecnologia-heterojunction-hjt-esta-lista-para-dar-el-salto-a-proyectos-utility-scale/>

Aleina. (2020). *PVTIME*. Tiling Ribbon Technology: The Key Feature Behind JinkoSolar Record High Power 580wp Tiger Pro Panel.

<http://www.pvtime.org/tiling-ribbon-technology-the-key-feature-behind-jinkosolar-record-high-power-580wp-tiger-pro-panel/>

alternative-energy-tutorials.com. (2021). *DS New Energy*. Diodo de Derivación de La Caja de Conexiones Fotovoltaicas Para La Protección Del Panel Solar. <https://www.dsisolar.com/info/pv-junction-box-s-bypass-diode-for-solar-panel-54221810.html>

Antony Cordova. (2020). *Novum Solar*. Inclinação y Orientación de Paneles Solares En El Perú. <https://novumsolar.com/inclinacion-y-orientacion-de-paneles-solares-en-el-peru/>

Appa Renovable. (2018). *Appa Renovable*. Marco Regulatorio Fotovoltaica. <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/marco-regulatorio-fotovoltaica/>

Aurora, L., & Salgado, O. (2012). *NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas*.

www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html

- Autosolar. (2020). *Autosolar*. ¿Cuánto Duran Los Paneles Solares?
<https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/duran-para-siempre-los-paneles-solares>
- Autosolar. (2022a). *AliExpress*. Controlador de Carga y Descarga Solar.
<https://es.aliexpress.com/item/4000277130555.html>
- Autosolar. (2022b). *AutoSolar*. Inversores Trifásicos.
<https://autosolar.es/inversores/inversores-trifasicos>
- Baron, A. (2019, March 18). *researchgate.net*. The Variation of Air Mass to Zenith of Sun. https://www.researchgate.net/figure/The-variation-of-Air-mass-to-zenith-of-sun-9_fig2_331843605
- Bellini, E. (2020). *Pv magazine*. Una Nueva Estructura de Electrodo Frontales Para Módulos Shingled. <https://www.pv-magazine-latam.com/2020/01/24/una-nueva-estructura-de-electrodos-frontales-para-tejas-fotovoltaicas/>
- BESTEK. (2022). *Automotriz y Motocicletas*. Inversor de Corriente de Onda Sinusoidal Pura de 500 W DC 12 V a CA 110 V Adaptador Convertidor de Corriente Con Puertos de Carga USB Duales de 4,2 A y 2 Salidas AC Cargador de Coche, Certificado ETL.
<https://www.amazon.com.mx/BESTEK-Inversor-potencia-onda-sinusoidal/dp/B082MDRC64>
- Caldas, C. de I. de la U. D. F. J. de. (2003). Revista Tecnura. *Tecnura*, 6(12), 31-41. <https://doi.org/10.14483/22487638.6135>
- Camara de Diputados. (2022). *web.diputados*. Camara de Diputados.
<https://web.diputados.gob.mx/inicio>
- Celdares. (2022). *Venta de paneles solares*. ¿Qué Es Un Punto Caliente En Un Panel Solar? . <https://celdares.mx/que-es-un-punto-caliente-en-un-panel-solar/>

CFE. (2022a). *CFE. Nuestra Empresa.*

<https://www.cfe.mx/nuestraempresa/pages/queeslacfe.aspx>

CFE. (2022b). *CFE. Generación IV.*

<https://www.cfe.mx/genIV/pages/default.aspx#:~:text=%E2%80%8B%E2%80%8B%E2%80%8B%E2%80%8B,la%20prestaci%C3%B3n%20del%20umministro%20El%C3%A9ctrico.>

CFE. (2022c). *CFE. Distribución.*

<https://www.cfe.mx/distribucion/Pages/default.aspx#:~:text=CFE%20Distribuci%C3%B3n%20brinda%20el%20servicio,Medici%C3%B3n%2C%20conexi%C3%B3n%20y%20servicioshttps://transmision.cfe.mx/Pages/Inicio.aspx>

CFE. (2022d). *CFE. Nuestra Empresa.*

<https://www.cfe.mx/nuestraempresa/pages/historia.aspx#:~:text=Su%20parque%20de%20generaci%C3%B3n%20est%C3%A1,geotermoel%C3%A9ctrica%2C%20eoloel%C3%A9ctrica%20y%20solar%20fotovoltaica.>

CFE. (2022e). *CFE. Nuevo Contrato.*

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

CIEP. (2016). *CIEP. La CFE Ante La Apertura Del Mercado Eléctrico Mayorista.*

<https://ciep.mx/la-cfe-ante-la-apertura-del-mercado-electrico-mayorista/>

Cruz Luis. (2017). *INGENIERIAELECTRINICA. Construcción y Características Eléctricas de Las Celdas Solares y Paneles.*

<https://ingenieriaelectronica.org/construccion-y-caracteristicas-electricas-de-las-celdas-solares-y-paneles/>

de Brito, M. A. G., Galotto, L., Sampaio, L. P., de Azevedo Melo, G., & Canesin, C. A. (2013). Evaluation of the main MPPT techniques for photovoltaic

applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(3), 1156–1167.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2012.2198036>

de Diputados, C., Congreso De, D. H., & Unión, L. A. (2008). *LEY PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA*.

Dominguez, H. (2004). *Nuestra Atmosfera: Como Comprender Los Cambios Climaticos*. Lectorum.

https://books.google.com.ec/books?id=Dgd_oUuTnDUC&pg=PA17&dq=ATMOSFERA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiYoYXq5e3mAhWNq1kKHdzkAxwQ6AEILjAB#v=onepage&q=ATMOSFERA&f=true

DS New Energy. (2020). Tecnología de Células Solares IBC (Interdigitated Back Contact) – Conocimiento. <https://www.dsisolar.com/info/ibc-interdigitated-back-contact-solar-cell-t-43759867.html>

Dspace en ESPOL. (2011). Aplicación de Fusibles e Interruptores Termo Magnéticos. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/16920>

Ema. (2022). *Ema*. ¿Qué Es Ema?

https://www.ema.org.mx/portal_v3/index.php/que-es-ema

Energías Inteligentes. (2015). *Sistemas Híbridos*. Principio de Funcionamiento y Preguntas Frecuentes.

<http://www.energiasinteligentes.com/noticias/9/sistemas-hibridos-principio-de-funcionamiento-y-preguntas-frecuentes>

Enriquez, G. H., & Harper, G. E. (2004). *Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales*. 440.

https://books.google.com/books/about/Manual_de_instalaciones_el%C3%A9ctricas_resi.html?hl=es&id=kxe4_AZrZtUC

Fontal, B., Suárez, T., Reyes, M., Bellandi, F., Contreras, R., & Romero, I. (2005). El espectro electromagnético y sus aplicaciones. *VII Escuela Venezolana Para La Enseñanza de La Química*.

- García Gutiérrez. (2019). Revista Ecovida. *Riesgos Ambientales En Parques Solares Fotovoltaicos Del Occidente de Cuba*.
<https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/164/html>
- Gerardo Cruz Peralta. (2016). *CCEEA*. Obtención de Valores de Hora Solar e Inclinación Adecuada Para Sistemas Fotovoltaicos.
<https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/obtencion-de-valores-de-hora-solar-e-inclinacion-adecuada-para-sistemas-fotovoltaicos>
- Gifford Jhonatan. (2017). *pv magazine International*. Momentum Builds for HJT.
<https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/momentum-builds-for-hjt/>
- Gob.mx. (2022a). *gob.mx*. Interconexión de Centrales Eléctricas Con Capacidad Menor. <https://www.gob.mx/tramites/ficha/interconexion-de-centrales-electricas-con-capacidad-menor-a-0-5-mw/CFE3143>
- Gob.Mx. (2022). *gob.mx*. Comisión Reguladora de Energía .
<https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>
- Gob.mx. (2022b). *gob.mx*. ¿Qué Es La Generación Distribuida? –Grandes Usuarios de La Energía. <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/que-es-la-generacion-distribuida-estados-y-municipios>
- Harol Ortiz. (2016). *Ecosolar*. La Célula Fotovoltaica.
<https://www.ecosolaresp.com/la-celula-fotovoltaica/>
- Harry Altman. (2018). *Six SIGMA*. Harry Altman .
https://books.google.com.mx/books?id=NAI5uQEACAAJ&dq=sixsigma&hl=es&sa=X&redir_esc=y
- HyperPhysics. (2009). *hyperphysics*. Silicon and Germanium.
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Solids/sili.html>

Inna Samsón, R. E. (2019). *Simulación de un Colector para Refrigerador Solar por Adsorción*.

https://www.researchgate.net/publication/320474536_Simulacion_de_un_Colector_para_Refrigerador_Solar_por_Adsorcion

instylesolar. (2020). *DS New Energy*. Tecnología de Células Solares IBC (Interdigitated Back Contact) . <https://www.dsisolar.com/info/ibc-interdigitated-back-contact-solar-cell-t-43759867.html>

Jinhua Sunmaster Lighting Co. Ltd. (2019). *Sunmaster*. Fabricante de Sistemas de Iluminación Solar.

<https://www.solarlightsmanufacturer.com/monocrystalline-and-polycrystalline/?lang=es>

Jinko Solar-. (2020). Tiling Ribbon Technology.

<https://www.jinkosolar.com/en/site/welding>

Jorge Reyes. (2020). *Voltaika Perú*. Energía Solar| Conceptos, Tipos, Ventajas y Desventajas. <https://voltaika.net/energia-solar/>

José Alfonso Alonso Lorenzo. (n.d.). *SunFields Europe*. Radiación Solar | Tipos, Conceptos y Aplicaciones. Retrieved May 31, 2022, from <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/radiacion-solar/>

Josephine. (2021a). *sun core solar energy*. Qué Es El Net Billing Para Los Sistemas de Paneles Solares En México. <https://suncore.com.mx/paneles-solares/que-es-el-net-billing-para-los-sistemas-de-paneles-solares-en-mexico/>

Josephine. (2021b). *SunCore Solar Energy*. Qué Es El Net Billing Para Los Sistemas de Paneles Solares En México. <https://suncore.com.mx/paneles-solares/que-es-el-net-billing-para-los-sistemas-de-paneles-solares-en-mexico/>

Llorente Alvaro. (2014). *instaladoresdetelecomhoy*. Cajas Combinadas Para Sistemas Fotovoltaicos. <https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/cajas-combinadas-para-sistemas-fotovoltaicos/>

Loredo Daniela. (2019). *El Financiero*. Reestructuración de CFE No Es Con El Fin de Convertirla En Un Monopolio. <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/reestructuracion-de-cfe-no-es-con-el-fin-de-convertirla-en-un-monopolio-bartlett/>

Lorenzo Jose. (2022). *Sunfield Europa*. ¿Qué Es y Como Funciona Un Inversor Fotovoltaico? <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/funcionamiento-inversor-fotovoltaico/>

Lynch, D. K., & Livingston, W. C. (William C. (2001). *Color and light in nature*. Cambridge University Press.

Made-in-China. (2019). *Made-in-China.com*. N Type Mono 9 Busbar Topcon Bifacial Solar Cell. <https://m.made-in-china.com/product/N-Type-Mono-9-Busbar-Topcon-Bifacial-Solar-Cell-879631725.html>

Malte Neumeier. (2021). *Grupo Mae*. UVIEs ¿Qué Son y Cuándo Se Requieren? <https://maerenovables.com/uvies-y-uuie/#:~:text=%E2%80%9CUnidad%20de%20verificaci%C3%B3n%20de%20Instalaciones,de%20verificaci%C3%B3n%20de%20instalaciones%20el%C3%A9ctricas.>

Megas. (2017). *Megas*. Las Tecnologías de Las Celdas Solares. <http://megas.com.do/index.php/2017/01/16/las-tecnologias-de-las-celdas-solares/>

Montecinos Geisse, S., & Carvajal Araneda, D. (2018). *Energías renovables : Escenario actual y perspectivas futuras*. https://books.google.com/books/about/Energ%C3%ADas_renovables.html?hl=es&id=PXKMDwAAQBAJ

- Moro Vallina, M. (2018). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Paraninfo.
- Mty Solar. (2018). *Mty Solar*. Como Funcionan Los Paneles Solares, Mantenimiento Paneles Solares. <https://mtysolar.com/como-funcionan/index.html>
- Nichese. (n.d.). *Silicio. Estructura atómica del silicio*. Retrieved May 31, 2022, from <http://solete.nichese.com/silicio.html>
- Oscar Ocampo. (2020). *IMCO*. ¿Por Qué Importa La Independencia de La CRE? <https://imco.org.mx/por-que-importa-la-independencia-de-la-cre/#:~:text=La%20Comisi%C3%B3n%20Reguladora%20de%20Energ%C3%ADa,uno%20de%20los%20menos%20comprendidos>.
- Pareja Aparicio, Miguel. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo Ediciones Técnicas.
- Rafael Almanza. (2022). Reflexiones sobre la energía Solar. *Reflexiones Sobre La Energía Solar*. <http://www.ii.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/Gaceta-Septiembre-Octubre-2019/Paginas/reflexiones-sobre-energia-solar.aspx>
- reneweconomy. (2021). *El Periódico de la Energía*. La Energía Solar En La Azotea Ayuda a Que Por Primera Vez En El Mundo Una Red Eléctrica Tenga Una Demanda Operativa Cero. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-solar-en-la-azotea-ayuda-a-que-por-primera-vez-en-el-mundo-una-red-electrica-tenga-una-demanda-operativa-cero/>
- Ruiz Alvaro. (2022). *Esenergía*. La Celula Solar Fotovoltaica: Tecnologías y Funcionamiento. <https://esenergia.es/celulas-solares-tercera-generacion/>
- Schmidt, J. (2020). EL SILICIO MONOCRISTALINO DOPADO CON GALIO RESUELVE EFECTIVAMENTE EL PROBLEMA LID EN UN MÓDULO PERC. *Futureenergyweb.Es*. https://futureenergyweb.es/wp-content/uploads/2020/06/FuturEnergy_Abril20_21-24_longi.pdf

- Selectra. (2021). *Tarifa Luz y Gas*. ¿Qué Es La Energía Solar? Tipos, Ventajas y Usos. <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/energia-solar>
- SENER. (2022). *SENER*. Grupo de Ingeniería. <https://www.group.sener/es/grupo-sener>
- Social Energy. (2020). *Social Energy*. ¿Por Qué Utilizar Microinversores Solares? <https://tiendasocialenergy.es/blog/microinversores-solares/>
- Solartik. (2020). *Energía Solar Renovable*. ¿Que Es Un Sistema Solar OFF GRID? <https://solartik.ar/que-es-un-sistema-solar-off-grid/>
- Soria Alberto. (2020). *Censolar*. Módulos Fotovoltaicos de Célula Partida. <https://www.censolar.org/half-cell/>
- SotySolar. (2020). *Paneles solares monocristalinos o policristalinos*. <https://Sotysolar.Es/Placas-Solares/Monocristalinas-Policristalinas>.
- Suministro de Materiales Electricos. (2020). *Suministro de Materiales Electricos*. CONEXIÓN A TIERRA: ¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA ? <https://jdelectricos.com.co/conexion-a-tierra/>
- Tadeus Gallosa López. (2020). *Global solar distribution (MX)*. México: Celdas Fotovoltaicas Con Tecnología PERC . <https://blog.krannich-solar.com/es-MX/blog/lector-de-blogs/m%C3%A9xico-celdas-fotovoltaicas-con-tecnolog%C3%ADa-perc-1614.html>
- Techno Sun. (2020). *TecnoSun*. Por Qué Las Células Partidas y La Tecnología MBB Son La Tendencia Inevitable En Paneles Solares de Alta Eficiencia. <https://www.technosun.com/es/blog/conocimiento/celulas-partidas-y-multibusbar-paneles-solares-alta-eficiencia/>
- TeknoSolar. (2022a). *TeknoSolar*. Estructura Inclínada Soporte Placas Solares Regulable 20° - 35° Cubierta Chapa Metálica 13V.

<https://www.teknosolar.com/estructura-inclinada-soporte-placas-solares-cve915xl-regulable-20o-35o/>

TeknoSolar. (2022b). *TeknoSolar*. Estructura Soporte Placas Solares En Horizontal Para Cubierta Metálica 03H .

<https://www.teknosolar.com/estructura-soporte-placas-solares-en-horizontal-para-cubierta-metalica/>

Thesolarnerd. (2020). *DS New Energy*. ¿Qué Es Una Célula Solar de Heterounión?

<https://www.dsisolar.com/info/what-is-a-heterojunction-solar-cell-43962423.html>

valencia Edgar. (2019). *CCEEA*. ¿Cómo Obtener La Hora Solar Pico En México? .

<https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/como-obtener-la-hora-solar-pico-en-mexico>

Zbynek Burival. (n.d.). *dreamstime*. Los Paneles Solares Cubiertos Con Nieve

Foto de Archivo . Retrieved June 18, 2022, from

<https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-libres-de-regal%C3%ADas-los-paneles-solares-cubiertos-con-nieve-image31373138>

Glosario

ABSORCIÓN

Perdida de la radiación dada por la retención de la radiación debido a los gases existentes en la atmosfera.

AISLAMIENTO TÉRMICO

Es un material que establece una barrera al paso del calor entre dos medios. En general todos los materiales ofrecen resistencia al paso del calor es decir son aislantes térmicos.

ALTO CONSUMO

Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad.

AMPACIDAD

Corriente máxima que un conductor puede transportar continuamente, bajo las condiciones de uso, sin exceder su rango de temperatura.

ANSI

Instituto de estándares nacionales americanos.

ARREGLO FOTOVOLTAICO

Conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie o paralelo.

ASTM

Sociedad americana de testeo y materiales.

AWG

American Wire Gauge indica la nomenclatura norteamericana para designar el calibre de los conductores.

BAJA TENSIÓN

Tensión menor o igual a 1Kv.

CABLE

Conductor formado por un conjunto de hilos de metal, ya sea trenzados o torcidos.

CABLEADO

La selección e instalación apropiada de los conductores en un sistema eléctrico evitan riesgos de cortocircuito y fallas a tierra, con ello se reduce la probabilidad de formación de arcos eléctricos y por ende de incendios.

CAJA DE CONEXIONES (TRANSICIÓN)

Envoltente con un grado de protección adecuado para ser instalada al exterior, con terminales apropiadas de conexión.

CAJA COMBINADORA

Caja de conexiones (transición) que permite realizar el cambio entre cable de un solo conductor FV a un conductor con aislamiento THWN-2 en canalizaciones que tiene el único propósito de realizar la transición entre cable fotovoltaico y un conductor con aislamiento de alta temperatura (THWN-2).

CALIBRE DE UN CONDUCTOR

Es el grosor o área de sección transversal de un conductor.

CANALIZACION

Canal cerrado de materiales metálicos o no metálicos, expresamente diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras.

CELDA FOTOVOLTAICA

Es un dispositivo que convierte directamente la luz solar en electricidad.

CELDA MONOCRISTALINA

Primera tecnología de celdas fotovoltaicas que se produjo a nivel industrial. En esta, las celdas se obtienen a partir de un gran cristal de Silicio.

CELDA POLICRISTALINA

Tecnología que se fabrican a partir de un bloque de Silicio formado por muchos.

CENACE

Centro nacional de control de energía.

CEPT EL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA

Conductor utilizado para unir eléctricamente al conductor puesto a tierra o al conductor de PT de equipos, con el electrodo de PT, creando el sistema puesto a tierra.

CERTIFICACIÓN UL

Certificación de los laboratorios Underwriters.

CFE

Comisión federal de electricidad.

CIRCUITO PARALELO

Circuito donde todos los componentes están conectados entre sí, formando exactamente dos conjuntos de nodos eléctricamente comunes.

CIRCUITO SERIE

Circuito donde todos los componentes están conectados de extremo a extremo, formando una sola ruta para el flujo de corriente.

CONECTORES

Elementos necesarios para la conexión de módulos fotovoltaicos, unos elementos que aseguran el buen funcionamiento y seguridad de la instalación fotovoltaica.

CONDUCTOR

Cualquier material que ofrezca mínima resistencia al paso de una corriente eléctrica. Los conductores más comunes son de cobre o de aluminio y pueden estar aislados o desnudos.

CONDUCTANCIA ELÉCTRICA

Se denomina conductancia eléctrica (G) de un conductor, a la propiedad del material de permitir el flujo de cargas eléctricas (electrones). Es la inversa de la resistividad.

Su unidad es el Simmens [S].

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA O LINEAL

Capacidad de un cuerpo para conducir la corriente eléctrica. La conductividad es la inversa de la resistencia eléctrica. Su unidad es el Simmens/metro.

CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA

Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

CONDUCTOR CON AISLAMIENTO

Conductor rodeado de un material de composición y espesor reconocidos en esta NOM como aislamiento eléctrico

CONDUCTOR PUESTO A TIERRA

Conductor de un sistema o de un circuito, intencionadamente puesto a tierra.

CONOCER

Concejo nacional de certificación

CONSTANTE SOLAR

La cantidad de energía solar que llega a la parte superior de la atmósfera de la Tierra por metro cuadrado de superficie perpendicular, se llama a menudo constante solar.

CORRIENTE

Fenómeno físico causado por el desplazamiento de una carga (ion o electrón).

CPTC CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS

Conductor que une todas las partes metálicas con un camino de baja resistencia al conductor del electrodo de puesta a tierra.

CRE

Comisión reguladora de energía.

DIAGRAMA ELÉCTRICO

Representación ilustrada (pictórica) de un circuito eléctrico.

DIAGRAMA DE CONEXIONES

Diagrama con la función de analizar una instalación con el objetivo de hacer modificaciones al circuito antes de ponerlo en un plano.

DIAGRAMA DE PLANTA

Los planos de planta son dibujos a escala que muestran la relación entre habitaciones, espacios y características físicas vistos desde arriba.

DIAGRAMA UNIFILAR

Esquema en donde se representan gráficamente los equipos, dispositivos y elementos que conforman una instalación eléctrica o de parte de ella.

DICTAMEN DE VERIFICACIÓN

Documento indispensable para efectuar contrato de servicio de interconexión con C.F.E.

DPSC

Dispositivo de protección contra sobre corriente.

EFICIENCIA MODULAR

Medida de la cantidad de luz solar (irradiación) que cae sobre la superficie de un módulo fotovoltaico y se convierte en electricidad.

ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA

Objeto conductor a través del cual se establece una conexión directa a tierra.

EMA

Entidad mexicana de acreditación.

ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

Energía que se atribuye a la presencia de un campo electromagnético, generado a partir del movimiento de partículas eléctricas y magnéticas moviéndose y oscilando a la vez.

ESPECTRO VISIBLE

Parte de espectro electromagnético que los ojos humanos son capaces de detectar. Cubre todos los colores del azul a 400 nm al rojo a 700 nm.

EXPANSIÓN TERMICA

Efecto que se da debido a la extensa exposición de una alta temperatura en un material.

FALLA A TIERRA

Falla que ocurre cuando la corriente eléctrica no completa su circuito, sino que pasa a tierra en un lugar inesperado.

FCC

Comisión federal de comunicaciones

FUSIBLE

Dispositivos pequeños de seguridad que forman parte de las instalaciones eléctricas, los cuales se funden cuando la corriente alcanza ciertos valores excesivos.

GABINETE

Aquel elemento utilizado como registro o contenedor para los cables y elementos eléctricos.

GENERACION DISTRIBUIDA

Generación de energía eléctrica por medio de pequeñas fuentes de energía en lugares próximos a las cargas.

GENERADOR FOTOVOLTAICO

Unidad Generadora capaz de convertir la radiación incidente directamente en energía eléctrica en forma de corriente directa.

GRADOS IP INGRESS PROTECCION RATING

Indican el grado de resistencia del dispositivo a las condiciones climatológicas adversas y perjudiciales para su funcionamiento.

HORA SOLAR PICO

Energía hipotética de 1000 w que recibimos en horas por m², y esta energía no es la misma dependiendo de la localización (cuanto más cerca del ecuador mayor será) y por su época del año.

IEC

Internacional Electrotechnical Commision designa el calibre de los conductores en mm².

IEEE

Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

INCLINACIÓN

Ángulo que forma el panel respecto de la horizontal.

INVERSOR DE CADENA

Se conoce como inversores de cadena donde cada módulo solar se conecta en serie formando una cadena(s), Panel o paneles (sub arreglos), o arreglos y la energía se envía a un inversor.

INVERSOR Y MICROINVERSOR

Dispositivos que cambian una entrada de corriente continua en una salida de corriente alterna.

IRRADIACIÓN

Es la cantidad de irradiación recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m² o, en caso de un día, en Wh/m²/día o unidades equivalentes.

IRRADIANCIA SOLAR

Energía emitida por el Sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.

ISO

Organización de estandarización internacional.

ISR

Impuesto sobre la renta.

MASA DEL AIRE (AM)

Medida indicativa de espesor de la atmósfera que ha tenido que recorrer la radiación antes de llegar a la superficie terrestre.

MEDIA TENSION

Tensión mayor que 1Kv y menor o igual a 35Kv.

MICROINVERSOR

Electrónico de potencia a nivel modular (EPNM) que convierte la corriente Directa eléctrica de los módulos solares a corriente alterna (AC).

MODULO FOTOVOLTAICO

Unidad completa protegida ambientalmente, que consta de celdas solares, óptica y otros componentes, sin incluir los sistemas de orientación, diseñada para generar energía de corriente continua cuando es expuesta a la luz solar.

MPPT MAXIMUM POWER POINT TRACKER

Sistema de seguidor del punto de máxima potencia que consigue alcanzar un balance entre el voltaje y la corriente en aquellas cadenas que trabajan en su máxima potencia para maximizar la extracción de potencia en todas las condiciones.

NEC

Código eléctrico nacional.

NET BILLING

Contrato que permite una forma de cobrar, pero también recompensar a los consumidores al balancear o netear el valor de su energía consumida contra lo que inyectan devuelta a la red de distribución.

NEMA

Asociación de fabricantes electrónicos nacionales.

NET METERING

Contrato que permite a los usuarios finales compensar el gasto de electricidad utilizando la producción o generación interna de energía

NFPA

Asociación nacional de protección contra incendios.

NMX

Normas mexicanas.

NOM

Norma oficial mexicana.

NREL

Laboratorio nacional de energías renovables.

LFMN

Ley federal sobre metrología y normalización.

LH

Ley de hidrocarburos.

LIE

Ley de la industria eléctrica.

LSPEE

Ley del servicio público de energía eléctrica.

OPTIMIZADOR

Dispositivos con tecnología MPPT que permiten controlar el funcionamiento del panel solar de forma individual, mejorando la eficiencia de la planta fotovoltaica.

ORIENTACIÓN

El ángulo que forma la normal a la superficie de captación respecto a la dirección.

PANEL FOTOVOLTAICO

Es el conjunto de módulos fotovoltaicos conectados en serie.

PAR GALVANICO

Efecto que sucede cuando dos metales distintos entran en contacto con un electrólito, generando una diferencia de potencial, por lo que se forma una pila galvánica en la que el ánodo (potencial +) se corroe mientras que el cátodo (potencial -) no sufre corrosión.

PROTECCIÓN AFDI UL 1699B IEEE 1547

Protección de falla por arco en corriente continua.

PROTECCIÓN GFDI UL 1741

Protección contra falla a tierra.

PTE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS

Cuando todas las partes metálicas no conductoras de corriente (equipos) que protegen o encierran a conductores o equipos eléctricos, se unen eléctricamente a tierra, con el fin de limitar su potencial y que sea 0V con respecto a la tierra.

PTS PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA

Cuando se realiza una conexión eléctrica entre un conductor de corriente y la tierra en un punto del sistema.

PUESTA A TIERRA

Directamente conectado a la tierra, o a través de un material conductor que está conectado a tierra.

PUNTO DE INTERCONEXIÓN

Punto en donde se conviene la entrega de energía eléctrica de un Generador o Permisionario al Suministrador, en el cual se medirá la potencia entregada.

PUNTO CALIENTE

Calentamiento excesivamente proporcional de una sola célula solar o una parte de la célula en comparación con las células circundantes.

RADIACIÓN ALBEDO

Es la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie.

RADIACIÓN DIFUSA

Radiación que se recibe como resultado de las dispersiones, reflexiones, refracciones y absorción que ha tenido a luz solar después de atravesar la atmosfera.

RADIACIÓN DIRECTA

Es la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso.

RADIACIÓN GLOBAL

La suma de la radiación directa, difusa y albedo.

RADIACIÓN SOLAR

Energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.

REFLEXIÓN

Fenómeno que se da cuando los rayos del sol chocan contra una superficie reflejante y cambian a una dirección distinta.

RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia es la propiedad de cualquier material de oponerse al flujo de carga eléctrica (electrones). Su unidad es el Ohm (Ω).

RESISTIVIDAD

Es la resistencia eléctrica específica de un material (ρ). Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica.

SENER

Secretaría de la energía

SERVICIO DOMESTICO

Tarifa que se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

SERVICIO DOMÉSTICO DE ALTO CONSUMO (DAC)

Tarifa que se aplicará a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, considerada de alto consumo o que por las características del servicio así se requiera.

SILICIO

Elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno.

SISTEMAS BIFÁSICOS

Sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica compuesto por dos corrientes alternas monofásicas.

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Conjunto de elementos formados por electrodos, cables, conexiones y líneas de tierra física de una instalación eléctrica que permiten conducir, drenar y disipar al planeta tierra de una corriente no deseada.

SISTEMA FOTOVOLTAICO

El total de componentes y subsistemas que combinados convierten la energía solar en energía eléctrica adecuada para la conexión a una carga de utilización

SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO O INTERACTIVO

Sistema solar fotovoltaico que funciona en paralelo con una red de generación y distribución de energía eléctrica, a la que puede entregar potencia.

SISTEMAS MONOFÁSICOS

Sistema de producción de energía eléctrica compuesto por 1 fase

SISTEMAS TRIFÁSICOS

Sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica compuesto por tres corrientes alternas monofásicas

SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA

Equipo que se utiliza para cambiar el nivel de tensión o la forma de onda, o ambas, de la energía eléctrica.

SUBSISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

Permite la medición de energía solar generada por un sistema fotovoltaico, en tiempo real, es decir, resume la productividad de los paneles solares y que ayuda a determinar si existe algún problema en la producción de energía solar.

TENSION MAXIMA

La tensión más alta de los circuitos de c.c. de un sistema fotovoltaico entre dos conductores de circuito o cualquier conductor y tierra.

UVIE

Unidad de verificación de instalaciones eléctricas.

VOLTAJE

Diferencial de tensión entre dos puntos.

Índice de figuras

Figura 1 Movimiento de las ondas electromagnéticas	
Figura 2 Radiación entrante a la tierra	
Figura 3 Espectro de Radiación Solar	
Figura 4 Espectro Visible Por EL Ojo Humano	
Figura 5 Reflexión Y Absorción De La Radiación	
Figura 6 Trayecto De La Luz Solar Por La Masa Del Aire	
Figura 7 Hora Solar Pico	
Figura 8 Radiación Global	
Figura 9 Posicionamiento del sol	
Figura 10 Distancia entre los módulos	
Figura 11 Posicionamiento ideal del módulo fotovoltaico	
Figura 12 Estructura atómica del silicio	
Figura 13 Posicionamiento de electrones en una celda fotovoltaica	
Figura 14 La célula fotovoltaica	
Figura 15 Proceso eléctrico de una celda fotovoltaica	
Figura 16 Diferencia de policristalino y monocristalino	
Figura 17 Composición de la tecnología HJT	
Figura 18 Composición de un módulo	
Figura 19 Diodo de derivación de la caja de conexiones fotovoltaicas para la protección del panel solar	
Figura 20 Celdas fotovoltaicas con tecnología PERC	
Figura 21 Módulos fotovoltaicos de célula partida	
Figura 22 Soldadura sin costuras utilizada para paneles solares	
Figura 23 Tecnología HJT	

Figura 24 Tecnología MBB	
Figura 25 Procesos Tiling ribbon	
Figura 26 Tecnología de células solares IBC	
Figura 27 Flujos de energías en sistema interconectado	
Figura 28 sistema solar OFF GRID	
Figura 29 Energías Sistemas Híbridos. Principio de funcionamiento	
Figura 30 Generación distribuida y su función	
Figura 31 Soporte inclinado del panel solar	
Figura 32 Estructura Soporte coplanar	
Figura 33 Funcionamiento de un inversor para paneles solares	
Figura 34 Inversores monofásicos.....	
Figura 35 Inversor trifásico	
Figura 36 Micro Inversor	
Figura 37 Controlador De Carga Panel Solar	
Figura 38 Cajas de conexión de energía solar fotovoltaica	
Figura 39 Diseño por vientos: velocidades de viento	
Figura 40 Mapa de velocidades del viento	
Figura 41 Pérdida total de un SFV por ráfagas de viento	
Figura 42 Reducción del aprovechamiento del sistema	
Figura 43 Anclaje ineficiente del sistema	
Figura 44 Falta en el Art. 100 la NOM-001-SEDE-2012 “Solo personal Calificado	
Figura 45 Falta en la NOM-017-SEDE-2008 Equipo de protección personal	
Figura 46 Error fatal de sistema puesta a tierra	
Figura 47 Quema del sistema fotovoltaico en Ciudad Judicial Jalisco	
Figura 48 Estructura de PTR sin protección contra el par galvánico	

Figura 49 Uso correcto de los anclajes del módulo a la estructura

Figura 50 Diseño erróneo de SFV

Figura 51 Incorrecto dimensionamiento de un SFV.....

Figura 52 Falla en conectores MC4 por mal ponchado del cable

Figura 53 Sistema expuesto a las condiciones ambientales

Figura 54 Sistema expuesto a las condiciones ambientales

Figura 55 Sistema fotovoltaico autónomo

Figura 56 Incendio de inversor Growatt producido por un mal dimensionamiento

Figura 57 Incorrecto mantenimiento de un panel solar

Figura 58 Generación de microfisuras por taladrar el módulo

Figura 59 Puntos calientes o hot spot en módulos fotovoltaicos

Figura 60 Incorrecta inclinación del SFV generando mal del vidrio blanco

Figura 61 Fallo en el cálculo por expansión térmica

Figura 62 Componentes del sistema de puesta a tierra

Figura 63 Correcta limpieza de los módulos en el techo

Figura 64 Mantenimiento de módulos fotovoltaico

Figura 65 Daños a módulos por causa climáticas

Figura 66 Curva típica de consumo eléctrico

Figura 67 Distribución de facturación neta

Figura 68 Imagen propia

Figura 68 Imagen propia

Figura 70 Imagen propia

Figura 71 Imagen propia

Figura 72 Imagen propia

Figura 73 Imagen propia

Figura 74 Imagen propia

Figura 75 Imagen propia

Figura 76 Imagen propia

Figura 77 Imagen propia

Figura 78 Imagen propia

Figura 79 Imagen propia

Índice de diagramas

Diagrama 1 Levantamiento del sitio

Diagrama 2 Dimensionamiento

Diagrama 3 Instalación

Diagrama 4 Sub sistema de acondicionamiento de potencia