

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE
UN SISTEMA SSFV CON INVERSOR CENTRAL**

Reporte de Residencia

Diego Andryck Guzmán Calvo

Asesor Interno:

Dr. Rubén Herrera Galicia

Asesor Externo:

Ing. Luis Enrique González Padilla

Elirmex S.A. de C.V.

Índice

1. Introducción	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Estado del arte	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	6
2. Fundamento teórico.....	6
2.1 Módulo Solar	6
2.2 Micro inversor	9
2.3 Inversor central	10
2.4 Envoy	12
2.5 Arreglo Fotovoltaico según la NOM-001-SEDE-2012	13
3. Desarrollo	20
3.1 Proceso de instalación.....	20
3.2 Fallas	31
4. Conclusiones.....	34
Referencias Bibliográficas.....	38

1. Introducción

1.1 Antecedentes

En la actualidad la tendencia que se tiene en la generación de nuevas tecnologías es muy grande, esto debido al aumento en la población mundial lo que hace que muchas empresas dedicadas al ramo tecnológico tengan que estar a la vanguardia para no perder terreno. Muchas de estas empresas se dedican a la investigación, desarrollo o innovación de formas de generación de energía eléctrica.

La energía eléctrica es de gran importancia para seguir con el desarrollo de un país sea cual sea. Por la tanto la forma de como generar dicha energía debe ser igual de importante pues de ahí se deriva la eficiencia y eficacia con la que se puede generar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica. Un país que genera su energía eléctrica utilizando energías alternas y renovables suele ser un país con gran desarrollo tecnológico.

Estas formas de generación pueden ser más o menos utilizadas dependiendo de los recursos naturales, así como de la geografía con los que el país cuenta. Como por ejemplo los aerogeneradores son usados en zonas donde el aire esta circulando constantemente para aprovechar la energía del aire y convertirla en energía eléctrica que pueda ser utilizada por su población y satisfacer sus necesidades.

Los aerogeneradores son una gran opción para generar energía eléctrica de una forma limpia y amigable para el medio ambiente, pero depende totalmente de zonas con gran afluencia de viento para poder generar. Un recurso natural que se presenta más constante en nuestro planeta tierra es la energía solar. Una forma entonces de aprovechar esta basta energía que se nos presenta es con la utilización de paneles solares los cuales tienen la capacidad de tomar la energía del sol y convertirla en energía eléctrica.

Este tipo de generación es considera como limpia pues no emite gases ni contaminantes al medio ambiente al momento de generar la energía eléctrica por medio de sus paneles al contrario de la generación por medio de la quema de combustibles como lo es una termoeléctrica que necesita mucha cantidad de energía calorífica para poder hacer girar las turbinas por lo que las emisiones de gases contaminantes afectan de gran manera la atmosfera y por ende al ser humano.

Por el contrario de otros países de primer mundo en la actualidad en nuestro país el uso de SSFV aún se encuentra en un proceso de aceptación por parte del gobierno, empresas y usuarios particulares esto debido a la poca difusión que hay acerca del tema a pesar de ser uno de los países con mayores horas de irradiación solar al día y de tener además beneficios fiscales, gubernamentales, ambientales y económicos, lo que hace muy atractiva la inversión en estas tecnologías.

Esto no quiere decir que este tipo de generación no se encuentre ya en uso, pues en varias partes del país ya es una forma usual de generar electricidad en su mayoría por parte del sector industrial pues los altos costos de las tarifas eléctricas por parte del suministrador en este caso de la CFE, ha llevado a una tendencia cada vez mayor del uso de este tipo de sistemas.

También es un hecho que el sector residencial está optando por la instalación de los SSFV en los domicilios sobre todo los clientes que por un alto consumo se encuentran en una tarifa DAC (Doméstico de alto consumo) pues es una opción que les permite bajar de igual manera la cantidad de dinero que pagan por el servicio eléctrico. Dependiendo de las necesidades del usuario se sabrá la cantidad de paneles y el tipo de inversor que es necesario usar en la instalación.

Por lo tanto, los SSFV son una manera factible de modernizar el sector eléctrico haciéndolo más eficiente. Otro punto a favor es el de poder electrificar zonas en las que es un poco menos que imposible transmitir la electricidad por medio de la infraestructura con la que se cuenta actualmente, pues este tipo de sistemas logran funcionar de una manera en que la energía no se tiene que transmitir grandes distancias pues basta instalarlo cerca de la carga para poder contar con la energía en la carga deseada.

1.2 Estado del arte

El parque solar High-Tech de Malasia es una de las tres construcciones que se llevaron a cabo en el año 2009. Tuvo una inversión de 680 millones de dólares y creó 2000 empleos en todo el tiempo que duró la construcción del proyecto. El gobierno del país está satisfecho con el logro obtenido en la creación de este parque solar.

Con una capacidad pico de 944 kW, la planta fotovoltaica más larga en Grecia se instaló en la red eléctrica de la ciudad de Pontoiraklia. Su inauguración tuvo celebración en septiembre de 2008. Planeado y construido por Phoenix Solar of Bavaria.

Los aviones deportivos franceses construidos por Lisa Airplanes desarrolló el High-Bird Solar impulsado únicamente por medio de módulos solares e hidrógeno. Después de su planteamiento la empresa creó su prototipo rápidamente llegando a la demostración en el 2009. Las celdas solares con las que cuenta el avión en las alas y la cola trasera están diseñadas para conectarse y desconectarse en pleno vuelo. Es una tecnología notable.

Conergy Group construyó el parque solar más largo en Corea. El parque solar en SinAn al sureste de Seúl genera unos 19.4 MW pico de energía eléctrica con una inversión de 90 millones de euros. El parque encargado a Dongyang Engineering and Construction Corporation pretendía generar 27000 MW/h anualmente. La empresa constructora pretendía también la expansión a 24 MW de potencia instalada en el parque.

El mayor productor de miel en Bélgica, “Meli”, pensó en la idea de incursionar en el ámbito de la generación de energía eléctrica para potenciar su maquinaria. A principios de agosto de 2008 el sistema fotoeléctrico instalado con una capacidad de producción de 340 kW fue puesto en marcha en la planta principal en Veurne, Flanders. El sistema fue instalado y entregado por la compañía Azur Solar.

El sistema solar es capaz de proveer del 50 al 60 % de la demanda total del equipo instalado en la planta principal reduciendo así los gastos por energía eléctrica y ayudando al medio ambiente de gran manera. En 2009 se dio un “boom” en la península ibérica con las fuentes renovables en este caso el de la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares. El ministro de la industria en España redujo la compensación por energía inyectada a la red por medio de esta forma de generación, limitando los nuevos sistemas.

En India informaron que ya se habían conectado a la red 900 MW del parque fotovoltaico indio Kurnool Ultra Mega Solar Park, un parque solar que, cuando esté terminado contará con 1.000 MW de capacidad, pero que hoy ya es la planta fotovoltaica más grande del mundo, al haber superado los 850 MW de la china Longyangxia Solar Park. El parque ocupa una superficie de 2.400 hectáreas. El proyecto está siendo ultimado por Andhra Pradesh Solar Power Corporation Private Limited (APSPCL), una empresa conjunta de Solar Energy Corporation of India, Andhra Pradesh Power Generation Corporation y New & Renewable Energy Development Corporation of Andhra Pradesh Ltd.

La planta solar de Longyangxia, situada en la provincia china de Qinghai, es la estación más grande de tecnología mixta hidro-solar del mundo, fue diseñada y construida íntegramente por Powerchina, y conectada a la red eléctrica del coloso oriental. La central hidroeléctrica cuenta con una capacidad de 1.280 MW de potencia. Es el de mayor inversión en tecnología hidro-solar fotovoltaica y se espera que suministre 483 GWh anuales a la red eléctrica china. En diciembre de 2015 fue completada la segunda fase de 530 MW de potencia, que, sumados a los 320 MW de la primera fase, dan un total de 850 MW que convierten a Longyangxia en la segunda mayor planta fotovoltaica del mundo hoy en día.

Kamuthi Solar Power Project es una planta solar fotovoltaica ubicada en Kamuthi, a 90 km de Madurai, en el estado de Tamil Nadu, India, y ha sido realizada por Adani Green Energy, perteneciente a Adani Group. La planta tiene una capacidad de generación de 648 MW, que la convierten en la planta más grande de la India y la tercera mayor del mundo, cuando ABB conectó a la red los primeros 360 MW. La planta solar, en la que se han invertido 4.550 millones de rupias (alrededor de 70 millones de euros) se compone de 2,5 millones de módulos solares y 27.000 Mt de estructuras. La instalación cuenta con 576 inversores, 154 transformadores y casi 6.000 kilómetros de cables.

1.3 Justificación

Una de las situaciones que ha limitado el uso, así como el crecimiento de tecnologías nuevas en relación con la generación de energía eléctrica ha sido la escasa información que se tiene sobre las fuentes renovables con las que se cuenta en la actualidad. Poca de la información con la que se cuenta se encuentra en línea o en revistas especializadas en el tema fotovoltaico mas no se presenta información detallada de la forma de conexión de los SSFV.

Nuestro país se encuentra en una transición en el sector energético esto debido a las nuevas reformas energéticas. Dentro de muy poco las fuentes renovables estarán presentes en gran cantidad en el sector industrial y residencial. Desde un punto de vista como consumidores es de suma importancia conocer lo más posible acerca de este tipo de generación. Aunque existen varios tipos de generación por medio de fuente renovables nos enfocaremos en la energía solar fotovoltaica.

Al contar con características de instalación sencillas y una generación relativamente eficiente los SSFV están ganando un gran mercado dentro de nuestro país y lo lleva a una tendencia de desarrollo bastante grande. En México existen una gran cantidad de empresas que se dedican a las instalación y monitoreo de los SSFV muchas de estas empresas con ya una gran experiencia en el campo.

Por lo tanto, se debe contar con un mayor conocimiento del tema sobre todo en la parte de ingeniería para aportar ideas que ayuden a la mejora de los sistemas actuales y lograr con el uso de la tecnología un país desarrollado y que tenga la facultad de satisfacer las necesidades que la población demande en términos de energía eléctrica. Por este y otros motivos se hará el análisis de los diferentes componentes que ayudan a convertir los tipos de energía eléctricas.

Los inversores tienen la función de tomar la corriente que generan los paneles solares en este caso corriente directa (CD) y convertirla en corriente alterna (CA) que es la energía que usan la mayoría de las cargas (aparatos electrónicos) que se localizan en un domicilio o en su defecto en los instrumentos de control, mantenimiento etc. de una industria. Estos son seleccionados dependiendo de variables como la cantidad de generación, el lugar en donde se encuentran instalados entre otras que más adelante se explicarán con más detalle.

Existen diversas marcas, tipos, modelos, capacidades con las que podemos encontrar inversores en el mercado muchos de estos utilizados en situaciones establecidas. Otras más dependerán de algunas de las variables antes mencionadas. Por ende, existe una marcada diferencia en el voltaje y corriente que puede suministrar un inversor central y un micro-inversor estos siendo los más usuales en una instalación fotovoltaico y de los cuales se hará el análisis y estudio del siguiente reporte.

1.4 Objetivos

Hacer un análisis de datos obtenidos de diferentes SSFV instalados en residencias con inversor central y micro-inversores tomando en cuenta las variables que se presenten en cada una de ellas con fines de comparación de eficiencia.

Objetivos específicos. Analizar el funcionamiento de un SSFV con inversor central. Analizar el funcionamiento de un SSFV usando micro-inversor Analizar información referente a la generación de energía eléctrica como lo es el voltaje, la corriente y la potencia que pueden ofrecer los SSFV Analizar la factibilidad de instalación de SSFV en diferentes zonas geográficas de la CDMX

2. Fundamento teórico

2.1 Módulo Solar

En la generación de energía eléctrica por aprovechamiento de la luz solar que recibe la tierra, el componente esencial que sirve para cumplir con el proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica es la célula solar. Esto se debe al efecto fotoeléctrico, término dado por el físico Albert Einstein en 1900. Un fenómeno en el que los electrones son expulsados desde la superficie de ciertos metales que se han expuesto a la luz de al menos determinada frecuencia mínima y que se conoce como frecuencia umbral.

Esta frecuencia que hace que los electrones sean expulsados es dado por la luz solar. La energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Silicio Puro monocristalino. - Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para este tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%. En la figura 2.1 se puede apreciar la forma que el módulo tiene pues es una manera de identificar el tipo de módulo que es.



Fig. 2.1 Módulo solar de silicio puro monocristalino.

Silicio puro policristalino. - Los materiales son semejantes a los del tipo anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado como se aprecia en la figura 2.2 Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.



Fig. 2.2 Módulo solar de silicio puro policristalino.

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada.

Silicio amorfo (TFS). - Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

Teluro de cadmio. - Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%. Arseniuro de Galio. - Uno de los materiales más eficientes. presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%. Diseleniuro de cobre en indio. - Con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%

Las células fotovoltaicas están encapsuladas con vidrio reforzado y varias capas de material plástico. Los paneles solares fotovoltaicos que se utilizan en la actualidad están formados de la siguiente estructura: cubierta frontal, capas encapsuladas, marco de apoyo, protección posterior, caja de conexiones eléctricas, células fotovoltaicas. A continuación, se dará una breve descripción de los componentes que forman al módulo solar.

Cubierta frontal. -La cubierta frontal del panel fotovoltaico tiene una función principalmente protectora ya que sufre la acción de los agentes atmosféricos. Se utiliza el vidrio templado con bajo contenido en hierro, ya que presenta una buena protección contra los impactos y es muy buen transmisor de la radiación solar. Si bien es necesario la presencia de la cubierta para proteger las células fotovoltaicas, dependiendo de la calidad del cristal protector puede hacer bajar el rendimiento del módulo solar.

Capas encapsuladas. -Las capas encapsuladas son las encargadas de proteger las células solares y sus contactos. Los materiales empleados (etil-vinil-acetileno o EVA) proporcionan una excelente transmisión a la radiación solar, así como una nula degradación frente las radiaciones ultravioletas. El <<EVA>> es un copolímero termoplástico de etileno y acetato de vinilo, que actúa como aislante térmico y transparente para dejar pasar los rayos solares hasta las células fotovoltaicas.

Aporta cohesión al conjunto del panel al rellenar el volumen existente entre las cubiertas frontal y trasera, amortiguando así las vibraciones e impactos que se pueden producir. Los problemas más importantes que presentan los copolímeros como la EVA son su excesiva plasticidad (cuando se estiran, no recuperan su posición original), gran adherencia al polvo, lo que provoca una disminución en la transmisividad a la radiación solar, y su baja vida útil, que suele condicionar la vida útil de todo el módulo.

Marco de apoyo. -El marco de apoyo es la parte que da robustez mecánica al conjunto. El marco de apoyo de un panel solar permite su inserción en estructuras que agruparán a módulos. El marco, normalmente, es de aluminio, aunque también puede ser de otros materiales. Protección posterior. Su misión de la protección posterior del panel fotovoltaico consiste, fundamentalmente, en proteger contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una

barrera infranqueable contra la humedad. Normalmente, se utilizan materiales 24 acrílicos, Tedlar o EVA. A menudo son de color blanco, ya que esto favorece el rendimiento del panel debido al reflejo que produce en las células. El Tedlar o PVF es un polímero termoplástico, estructuralmente similar al PVC (polyvinyl chloride). Tiene una baja inflamabilidad, baja permeabilidad a los vapores y una excelente resistencia al desgaste por las condiciones atmosféricas.

Caja de conexiones eléctricas. -De la caja de conexiones eléctricas salen dos cables, uno positivo y el otro negativo. Es el lugar por donde se da una continuidad en el circuito eléctrico. Algunos módulos fotovoltaicos tienen una toma de tierra, que deberá utilizarse en instalaciones de potencia elevada.

2.2 Micro inversor

Un módulo solar tiene la tecnología para generar corriente continua por medio del efecto fotoeléctrico, el problema en este proceso de generación es que la mayoría de los aparatos que se encuentran en un hogar o en su defecto es la industria utilizan corriente alterna para funcionar. Por lo tanto, es necesario hacer esa conversión de energía para hacer factible la utilización de la energía generada por los paneles solares.

En este caso el equipo a usar es el micro inversor. Un Micro inversor es un equipo que toma la salida en CD de un solo modulo solar y la convierte en corriente alterna apta para la red. Esto lo hace por medio de una configuración especial de dispositivos de electrónica para poder generar la onda senoidal característica de la corriente alterna. Los micro inversores como ya se dijo cuentan con varios componentes que al ser conectados en una configuración especial crean la onda.

Resistencia. -Se denomina resistencia o resistor al componente electrónico diseñado para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito eléctrico. Capacitor. -Un condensador eléctrico o capacitor es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o placas, en situación de influencia total separadas por un material dieléctrico o por el vacío.

Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total. Diodo. - Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido, bloqueando el paso si la corriente circula en sentido contrario. Esto hace que el diodo tenga dos posibles posiciones: una a favor de la corriente (polarización directa) y otra en contra de la corriente (polarización inversa).

El diodo polarizado directamente permite el flujo a través de él de los electrones, o lo que es lo mismo permite el paso de la corriente eléctrica. En polarización inversa no permite el paso de los electrones por él. En la figura 2.5 se muestra el diodo común.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones: por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña.

Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal, como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua. Su principio de funcionamiento está basado en los experimentos de Lee De Forest.

Transistor. - Un transistor es un dispositivo que regula el flujo de corriente o de tensión actuando como un interruptor o amplificador para señales electrónica. Existen diferentes marcas en el mercado que se encargan de fabricar y distribuir los micro inversores. Una de estas marcas es Enphase, que es de la más reconocidas en el ámbito fotovoltaico por su gran calidad, confiabilidad y versatilidad con la que cuenta al momento de hacer la conversión de la energía eléctrica, pues mucha de la potencia real que es consumida depende del micro inversor.

Enphase cuenta con diferentes modelos de micro inversor los cuales son seleccionados dependiendo de las necesidades de potencia que se tengan. Los micro inversores también transmiten información por Internet sobre el rendimiento del sistema, de manera que se pueda monitorear el voltaje y potencia que se convierten en los micro inversores.

2.3 Inversor central

Un inversor central es conocido así ya que se utiliza uno solo para una cadena de paneles solares. La electricidad generada por los paneles pasa de panel en panel y llega al inversor para que éste la transforme en corriente alterna y la puedas utilizar. Los inversores estáticos utilizan, para efectuar la conmutación, dispositivos semiconductores de potencia, los cuales funcionan únicamente de dos modos: modo corte (off) y modo saturación (on). Por ello, la señal alterna de salida que se obtiene es cuadrada.

Una señal cuadrada puede convertirse en sinusoidal mediante filtros de potencia. El proceso de filtrado de los armónicos más cercano al fundamental requiere voluminosos capacitores y bobinas que reducirán el rendimiento del sistema, así como dispositivos de conexión/desconexión de estos.

Por esto, un objetivo para tener en cuenta cuando se diseñan inversores fotovoltaicos es obtener señales de salida, en las cuales los armónicos que aparezcan sean de pequeño valor y estén lo más lejos posible del fundamental. Esto se conseguirá aumentando la frecuencia de conmutación de los semiconductores y filtrando adecuadamente la señal obtenida. Una de las funciones que debe cumplir cualquier inversor solar es la de regular el valor de la tensión de salida.

Tensión Nominal. - Es la tensión que se debe aplicar a los terminales de entrada del inversor. **Potencia Nominal.** Es la potencia que puede suministrar el inversor de forma continuada. **Capacidad de sobrecarga.** Se refiere a la capacidad del inversor para suministrar una potencia considerablemente superior a la nominal, así como el tiempo que puede mantener esta situación.

Forma de onda. - En los terminales de salida del inversor aparece una señal alterna caracterizada principalmente por su forma de onda y los valores de tensión eficaz y frecuencia de esta. Eficiencia. Es la relación, expresada en tanto por ciento, entre las potencias presentes a la salida y a la entrada del inversor. Su valor depende de las condiciones de carga de este, es decir, de la potencia total de los aparatos de consumo alimentados por el inversor en relación con su potencia nominal.

La eficiencia de todos los inversores se ve afectada no sólo por las pérdidas producidas por la conmutación, sino también por las pérdidas debidas a elementos pasivos, como son los transformadores, filtros, condensadores, etc. Así la eficiencia de la conversión del sistema completo, el cual incluye filtros de entrada, dispositivos de conmutación, filtros de salida y transformador es más apropiada que únicamente la eficiencia del inversor.

Los inversores fuente de tensión generalmente tienen una eficiencia a plena carga de entre el 90 y 94% para sistemas de baja tensión de entrada (400 V). La siguiente figura 2.7 muestra, por ejemplo, la eficiencia de uno de los modelos de inversores SMA.

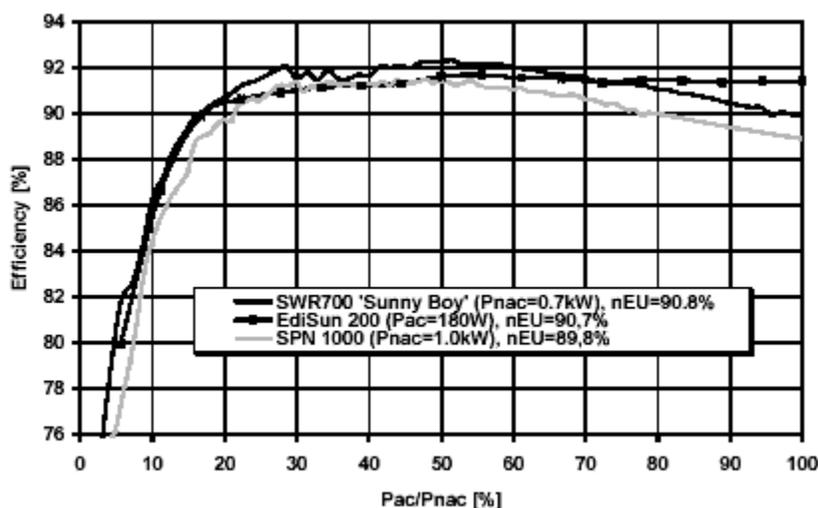


Fig. 2.7 Eficiencia de un inversor central marca SMA.

El inversor es quizás la parte más importante de cualquier sistema solar interconectado a la red eléctrica, puede considerarse como el cerebro del sistema. El inversor determina los voltajes de conexión y desconexión. Determina cuándo los paneles solares reciben suficiente luz en la mañana para comenzar a operar el sistema, así mismo determina cuando es de noche y apaga el sistema hasta el siguiente día.

El inversor contiene todos los algoritmos de seguridad, el más común es el de mantener el sistema apagado por al menos 5 minutos cuando se pierde el voltaje de la red, esto es para proteger a los trabajadores haciendo reparaciones. Los inversores para interconexión también ofrecen GFDI (Ground Fault Detection and Interruption) que es el dispositivo que detecta e interrumpe cualquier falla a tierra del sistema.

Los inversores centrales más recientes incluyen un AFDI (Arc Fault Detection and Interruption) el cual detecta cuando se genera un arco en el circuito del sistema. Algunos inversores incluyen un switch principal, el cual desconecta totalmente el sistema. Los inversores centrales son los más comunes en sistemas solares de interconexión a red.

En casos donde se requiere monitoreo individual o se tienen muchas sombras u obstáculos en el lugar de la instalación se recomienda el uso de micro inversores. Los inversores centrales con respaldo de energía le permiten tener un sistema solar conectado a la red con baterías de respaldo para suministrar energía cuando la red eléctrica falla. Los inversores centrales para interconexión se instalan entre los paneles solares y el medidor bidireccional.

El inversor central es el encargado de convertir el voltaje proveniente de los paneles solares a un voltaje compatible con la red eléctrica. Un inversor central para interconexión debe de incluir las siguientes características para que su operación sea segura y en acuerdo con los lineamientos de UL. Debe tener un interruptor central que desconecte todo el sistema con un sólo movimiento, debe incluir protección contra falla a tierra (GFDI), debe tener protección contra arcos en el circuito (AFDI), debe de mantener el inversor desconectado por 5 minutos después de una pérdida de voltaje en la red.

Los inversores centrales pueden ordenarse con configuraciones de 240V, 208V y 277V, algunos tienen la posibilidad de ser configurados por el usuario adaptándose a instalaciones monofónicas y trifásicas. Todos los inversores centrales incluyen una pantalla que muestra diferentes parámetros de producción tales como generación diaria, generación acumulada, voltaje registrado, etc. La cara frontal de los inversores también integra una serie de LEDs que alertan al usuario cuando algo no está bien y necesita la atención de un técnico.

El inversor es el dispositivo que decide las funciones principales del sistema tales como cuando iniciar a operar en la mañana. Es muy importante seleccionar el inversor adecuado con el fin de garantizar el mejor desempeño del sistema durante el largo de sus 30 años de vida. Todos los inversores están diseñados para uso en intemperie, sin embargo, es recomendable siempre instalarlos en un lugar fresco y con buena ventilación y nunca instalarlos en un lugar donde reciban los rayos directos del sol.

2.4 Envoy

En cualquier forma de generación sea cual sea esta, debe de existir algún método para medir la energía eléctrica que se está generando para así poder tener un control más específico del sistema y de la potencia que como usuarios recibimos. También es importante saber el estado del sistema para saber que está funcionando de la manera óptima y se pueda obtener la mayor energía posible día a día.

En el caso de un SSFV la forma en como esto se hace es por medio del Envoy, que es un dispositivo capaz de monitorear todo el sistema en cuanto a su generación y el estado en el que se encuentra el sistema durante las horas que se está generando energía eléctrica. El portal de comunicaciones envía los datos de producción solar y el consumo de energía al software de análisis y monitoreo.

El Envoy es una parte primordial de una instalación con paneles solares por los aportes que entrega al usuario para conocer más a fondo la producción del sistema que el cliente contrató. Dependiendo de la marca del Envoy son las características con las que cuenta. Como por ejemplo uno de los más completos es el nuevo Envoy IQ6 de Enphase el cual tiene como características la opción de medición integrada y monitoreo de consumo tipo comercial.

El envoy registra el voltaje que los paneles generan tanto individualmente como en conjunto, ya que no todos los paneles generan lo mismo sobre todo cuando existen sombras en el lugar donde se encuentran instalados. También registran la potencia que se está inyectando a la red de Comisión Federal de Electricidad. Esta potencia es la que determina cual será el cobro por parte de CFE en relación a lo que los módulos están generando y lo que el cliente consume por medio de las cargas con las que cuenta.

El envoy debe de tener una conexión constante de la señal del wifi para que el monitoreo que se tiene sea en tiempo real y no exista distorsiones en la medición del voltaje y de la potencia que se está generando. Cuando la señal no es lo suficientemente fuerte es necesario instalar un PLC el cual tiene el fin de potenciar la señal para que el envoy siempre este conectado a la red de wifi

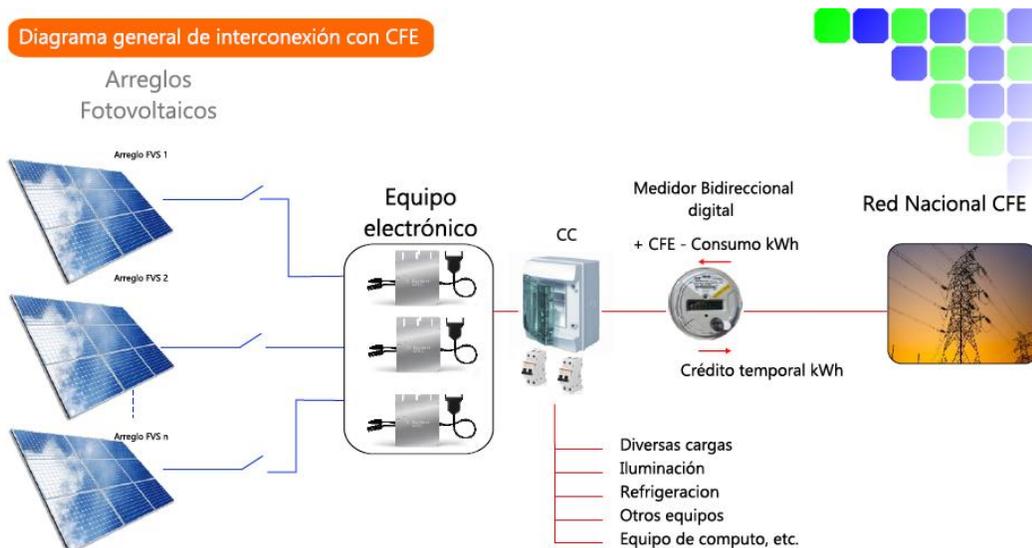


Fig. 2.8 Sistema de interconexión con CFE.

2.5 Arreglo Fotovoltaico según la NOM-001-SEDE-2012

Las unidades de generación de energía eléctrica constan de varios elementos que van desde los módulos, hasta los equipos que hacen el cambio de tensión o la forma de la onda, o ambas de la energía eléctrica. Para entender mejor el tema acerca de los sistemas solares fotovoltaicos debemos tener una noción de los componentes desde los más elementales hasta de la estructura en donde se montan los módulos, por lo tanto, a continuación, se dará una descripción detallada de estos componentes.

Celda Solar. - Dispositivo fotovoltaico básico que genera electricidad cuando está expuesto a la luz solar. Módulo. 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.

Panel. - Conjunto de módulos unidos mecánicamente, alambrados y diseñados para formar una unidad para instalarse en campo. Circuito de fuente fotovoltaica. Los conductores entre módulos y desde los módulos hasta el o los puntos de conexión común del sistema de corriente continua. Circuito de salida fotovoltaica. Los conductores del circuito entre el o los circuitos de la fuente fotovoltaica y el inversor o el equipo de utilización de corriente continua.

Diodo de bloqueo. - Diodo para impedir el flujo inverso de corriente hacia el circuito de la fuente fotovoltaica. En la figura 2.8 podemos apreciar cuales son los elementos primordiales con los que debe de contar un sistema de paneles solares.

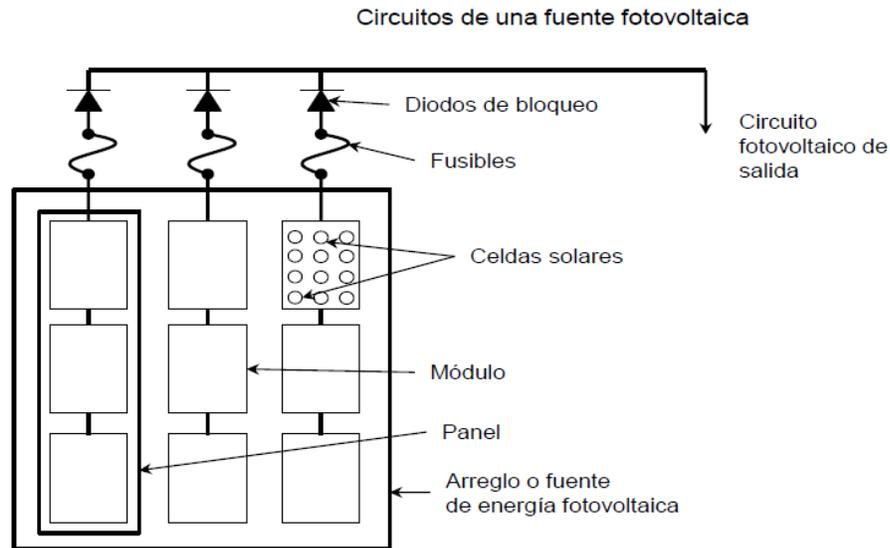


Fig. 2.8 Arreglo de una fuente fotovoltaica.

También se debe de mencionar todos los demás elementos, así como los arreglos que se pueden llevar a cabo para tener un sistema que pueda satisfacer las necesidades eléctricas que son necesarias.

Controlador de carga. -Equipo que controla la tensión de corriente directa y/o la corriente de la corriente continua usadas para cargar la batería. Controlador d desviación de carga. Equipo que regula el proceso de carga de una batería, desviando la potencia del sistema de almacenamiento a las cargas de corriente alterna o de corriente continua o al servicio público interconectado.

Punto de acoplamiento común. -En un sistema interactivo es el punto en el cual se presenta la interfaz de la red de generación y distribución de energía eléctrica y el cliente. Por lo general, es el lado carga del medidor de la red del suministrador. Red de generación y distribución de energía eléctrica. Sistema de generación, distribución y utilización de energía, tal como el sistema de una red pública y las cargas conectadas, que es externo y no controlado por el sistema de energía fotovoltaica.

La NOM-001-SEDE-2012 en su artículo 690 que es en relación con los SSFV explica que podemos encontrar diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos los cuales serán explicados a continuación. Para facilitar la comprensión también se mostrará imágenes de los componentes, así como una descripción de estos. Sistema fotovoltaico solar. -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 híbrido. -Sistema compuesto de fuentes múltiples de energía. Estas fuentes pueden ser generadores fotovoltaicos, eólicos, micro hidroeléctricas, grupos motor generador y otros, pero no incluyen las redes de los sistemas de generación y distribución de energía eléctrica. Los sistemas de almacenamiento de energía, tales como las baterías, no constituyen una fuente de energía para los propósitos de esta definición. En la figura 2.9 se puede observar el esquema de un arreglo híbrido.

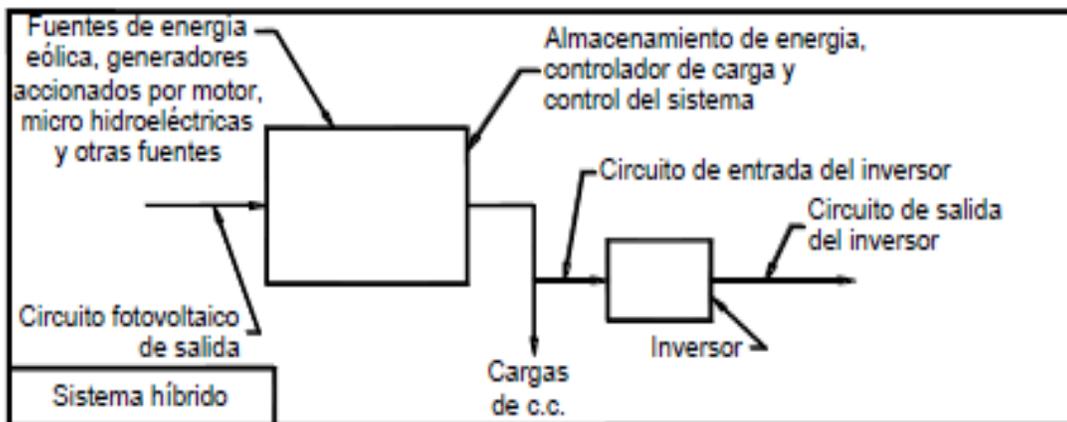


Fig. 2.9 Sistema híbrido

Sistema autónomo. -Sistema solar fotovoltaico que suministra energía eléctrica independiente de cualquier red de producción y distribución de energía eléctrica. En la figura 2.9 se puede apreciar las partes que contiene.

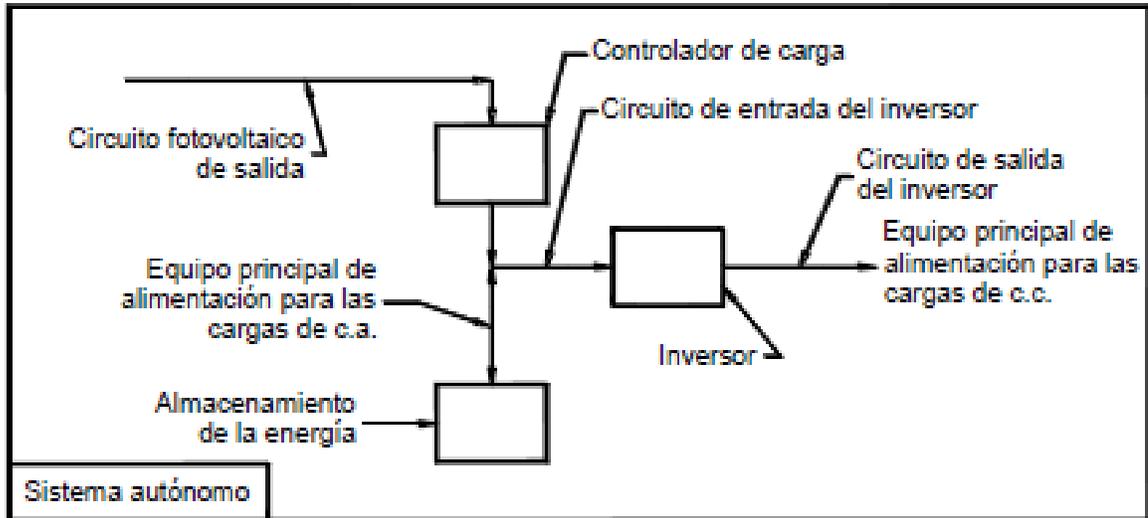


Fig. 2.9 Sistema autónomo

Sistema interactivo. -Sistema solar fotovoltaico que funciona en paralelo con una red de generación y distribución de energía eléctrica, a la que puede alimentar. Para el propósito de esta definición, un subsistema de almacenamiento de energía de un sistema solar fotovoltaico, como una batería, no es otra fuente de producción. La figura 2.10 muestra un sistema interactivo.

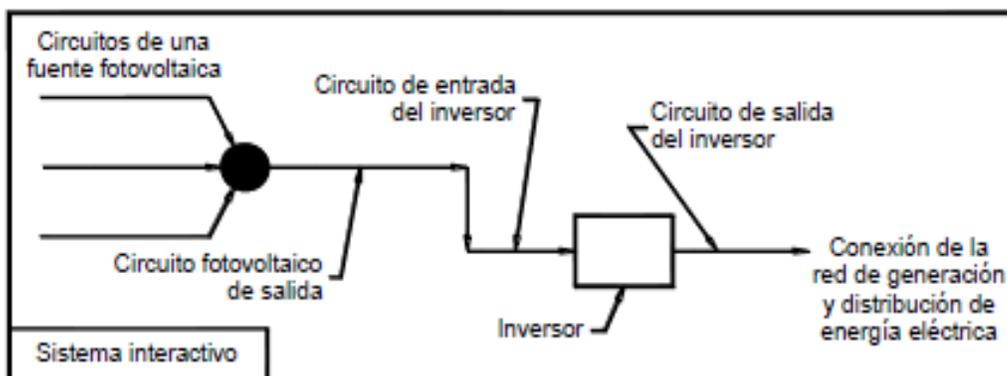


Fig. 2.10 Sistema interactivo.

Tipos de paneles en función de la forma. - También es posible clasificar los tipos de paneles en función de su forma. Empleándose cualquiera de los materiales antes comentados se fabrican paneles en distintos formatos para adaptarse a una aplicación en concreto o bien para lograr un mayor rendimiento. Algunos ejemplos de formas de paneles distintos del clásico plano son:

Paneles con sistemas de concentración. - Un ejemplo de ellos es el modelo desarrollado por una marca española, el cual mediante una serie de superficies reflectantes concentra la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque el porcentaje de conversión no varíe, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones.

Actualmente se investiga en sistemas que concentran la radiación solar por medio de lentes. La concentración de la luz sobre los paneles solares es una de las vías que están desarrollando los fabricantes para lograr aumentar la efectividad de las células fotovoltaicas y bajar los costes. La figura 2.11 muestra un ejemplo.

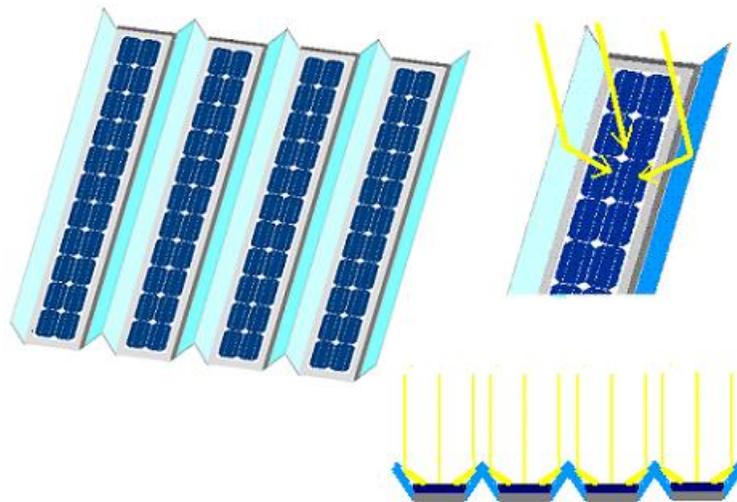


Fig. 2.11 Paneles con sistemas de concentración.

Paneles de formato “teja o baldosa”. - Estos paneles son de tamaño pequeño y están pensados para combinarse en gran número para así cubrir las grandes superficies que ofrecen los tejados de las viviendas. Aptos para cubrir grandes demandas energéticas en los que se necesita una elevada superficie de captación. En la figura 2.12 podemos ver un ejemplo de este tipo de paneles.



Fig. 2.12 Panel tipo tejado

Paneles bifaciales. - Basados en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras. Para aprovechar convenientemente esta cualidad se coloca sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel. Sistemas de seguimiento solar. En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar.

Colocación sobre soporte estático. -Soporte sencillo sin movimiento. Dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dotan a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones

Sistemas de seguimiento solar de 1 eje. -Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no ambas a la vez. Sistemas de seguimiento solar de dos ejes. Con este sistema ya es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes:

Sistemas mecánicos. -El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte. Mediante dispositivos de ajuste automático. El ajuste se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al panel corrigiéndose la posición por medio de motores.

Dispositivos sin motor. -Sistemas que, mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol. Se estima que con estos sistemas se puede lograr un aumento de entre el 30% y el 40% de la energía captada. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad.

Otros elementos asociados a los paneles solares fotovoltaicos. -El panel solar es el elemento encargado de captar la energía del sol y de transformarla en energía eléctrica que se pueda ser usada. Asociado los paneles existen otros componentes que se utilizan en las instalaciones como elementos de seguridad o que amplían las posibilidades del uso de la instalación. Los componentes esenciales de una instalación fotovoltaica son:

Regulador. -Es el elemento que regula la inyección de corriente desde los paneles a la batería. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se halla totalmente cargada evitando así los negativos efectos derivados de una sobrecarga. En todo momento el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles cuando esta empieza a bajar. En la figura 2.13 se presenta una forma de conexión del regulador con sistemas fotovoltaicos.

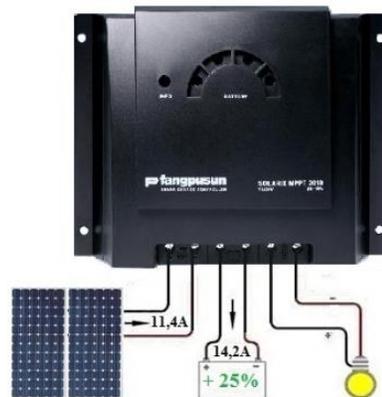


Fig. 2.13 Conexión regulador/sistema fotovoltaico.

Batería. - Almacena la energía de los paneles para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no son suficiente o adecuada para satisfacer la demanda. La naturaleza de la radiación solar es variable a lo largo del día y del año, la batería es el elemento que solventa este problema ofreciendo una disponibilidad de energía de manera uniforme durante todo el año. La figura 2.14 muestra algunas baterías.



Fig. 2.14 Baterías recargables.

3. Desarrollo

3.1 Proceso de instalación

La empresa Elirmex S.A. de C.V. cuenta con gran experiencia en el ámbito de los paneles solares, desde la selección y calculo de los paneles y materiales hasta la instalación en el domicilio o empresa en que el cliente lo requiera. Aunque no es un proceso largo el instalar un SSFV si requiere de técnica, así como de conocimientos y destreza que poco a poco se consigue con el pasar del tiempo y con cada instalación que se ejecuta.

Como en cualquier otra instalación es necesario tener el material necesario así también como la herramienta necesaria para lograr una instalación exitosa. Al ser una empresa con más de 10 años de experiencia en el mercado se tiene una metodología a seguir, por lo mismo se tiene ya una lista de herramienta fundamental para una instalación. A continuación, se presentará el material y herramienta que se usa durante la instalación de un SSFV.

Rieles. –Son barras de aluminio que conforman la estructura o base de los paneles solares. Aquí van montados los paneles solares. Son fabricados por la empresa PLP (Preformed Line products). PLP cuenta con barras de diferente medida, así como de características mecánicas, los cuales se adaptan a las diferentes necesidades de la estructura para aprovechar lo más posible el material. En la figura 3.1 se presentan las barras con las que PLP cuenta en donde se puede visualizar las características de cada una de las barras.

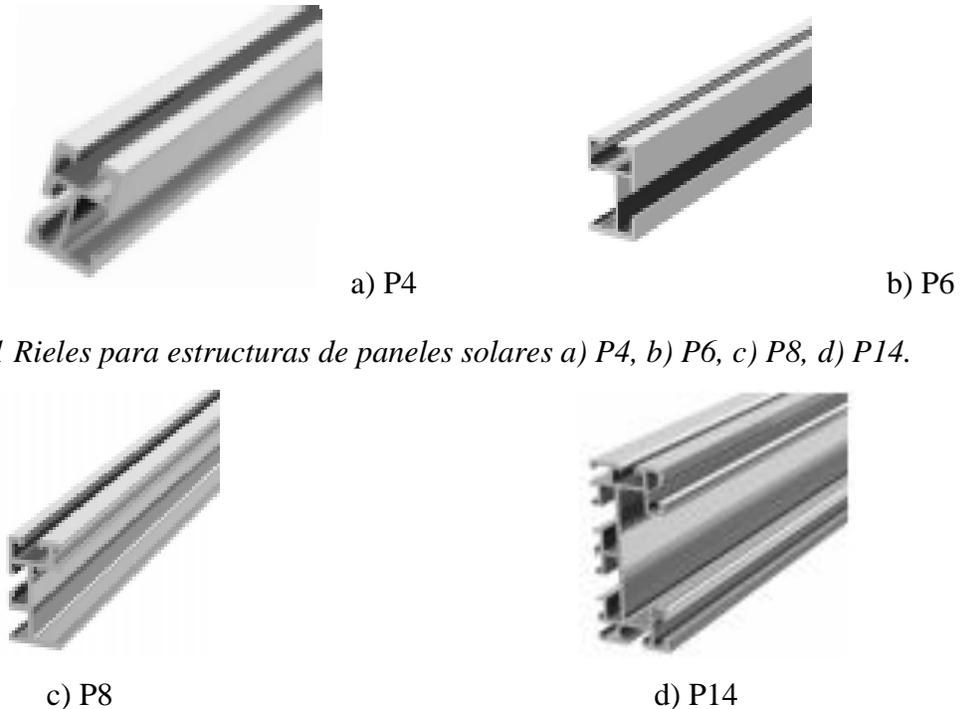


Fig. 3.1 Rieles para estructuras de paneles solares a) P4, b) P6, c) P8, d) P14.

Los rieles se eligen a partir de la cantidad de paneles que se necesitan en la instalación. Como por ejemplo los P4 tienen como “claro” 1.4 m, los P6 1.6 m, los P8 2.4 m y por último los P14 que tienen como “claro” 5 m. Dependiendo del terreno estos rieles van montados sobre ángulos del mismo material y fabricados por la misma empresa. En la figura 3.2 se aprecia la estructura usual de un SSFV.



Fig3.2 Estructura con P6.

Angulo. -El ángulo es usado para anclar la estructura formada por los rieles a donde el sistema va a ir instalado, por ejemplo, el techo que es lo más usual en los sistemas fotovoltaicos. Es también fabricado de aluminio lo cual lo hace resistente y con un peso considerable en comparación a otros materiales.

Patas. -Las patas sirven para fijar la estructura completa al techo o lugar en donde se pondrá la estructura que previamente se anaizó para obtener la mayor irradiación posible. Al igual que los rieles se cuenta con una variedad de medidas de patas. Las patas son seleccionadas dependiendo del número de módulos a instalar y el terreno en donde será puesto el sistema. En la figura 3.2 se muestra la pata más usada por la empresa Elirmex.



Fig. 3.3 Patas para anclar la estructura.

Brackets. -Tienen una apariencia similar a los de las patas, pero la función de los brackets es el de unir los rieles transversales de la estructura. Estos al igual que todas las demás partes de la estructura van unidas por medio de tornillos “coche” y tuercas “flange”. La figura 3.3 muestra un bracket.

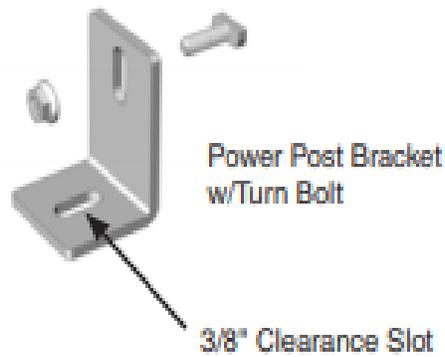


Fig. 3.4 Bracket.

Tuerca Flange. -Este tipo de tuerca es indispensable pues con ella se unen los rieles entre sí y con los ángulos, así como otras partes más que prácticamente son todos los tornillos que llevan este tipo de tuerca. La medida de la tuerca es de 7/16 de pulgada. La imagen 3.4 muestra la tuerca flange.



Fig. 3.5 Tuerca Flange.

Tornillo tipo T y Coche. - En la instalación de los SSFV los dos tornillos que no pueden faltar son los de estos tipos. Los tornillos tipo coche van prácticamente por toda la estructura pues son los que van en los rieles, así como para unir las patas y ángulos. Los tornillos tipo T son para usos más específicos como por ejemplo el anclaje de la estructura al suelo como también para unir los paneles con la estructura. En la figura 3.5 podemos apreciar estos dos tipos de tornillos.



a)



Fig. 3.6 a) Tornillos tipo coche, b) tornillo tipo T.

Mid Clamp. -Los mid clamp es un tipo de unión que se coloca entre paneles y los cuales gracias a los tornillos tipo T van anclados a los rieles de la estructura. La función es mantener a los módulos en la estructura presionándolos del marco hacia la estructura antes formada por los instaladores. En la figura 3.6 podemos ver un mid clamp.

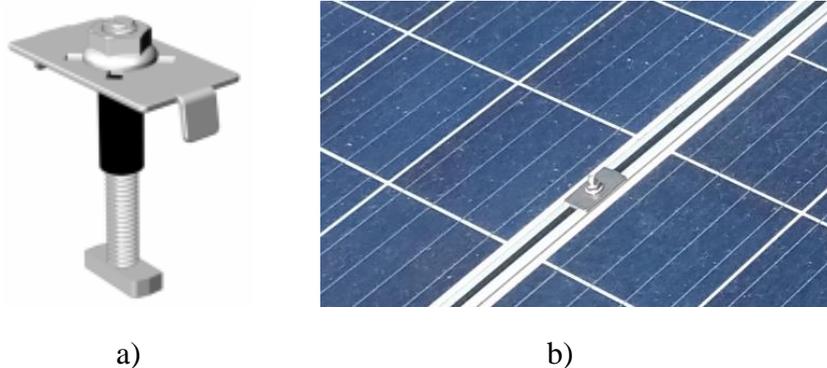


Fig. 3.7 Mid Clamp a) Modelo de fábrica, b) Mid clamp instalado.

End clamp. -Los end clamp tienen la misma función que los mid clamp pero a diferencia de los mid, los end van colocados a las orillas de los paneles, al principio y final de las hileras de los paneles. Van anclados de la misma forma con tornillos tipos T y tuercas tipo “Flange” a los rieles en donde se apoyan los paneles. Tanto como los mid y los end clamp deben de ir firmemente atornillados a los rieles para que no exista ningún riesgo de movimiento de los módulos y así se puedan conservar más tiempo aún a pesar de los vientos o movimientos que puedan presentarse en la estructura. La figura 3.7 muestra los end clamp.



a)



b)

Fig. 3.8 End Clamp a) End Clamp de fábrica, b) End Clamp instalado en riel.

Cople. -Existen casos en que las medidas de los rieles no son suficientes para lograr una estructura uniforme o casos en que al quedar material de sobre al unirse puede ahorrarse el comprar material nuevo, por lo tanto, es necesario tener alguna forma para unir dos tramos de riel y convertirlos en uno solo. Para estos casos podemos encontrar coples que unen dos tramos de riel. Cabe mencionar que los casos son pocos pero que se pueden presentar en cualquier instalación. La figura 3.8 muestra la forma de los diferentes coples para este tipo de material.

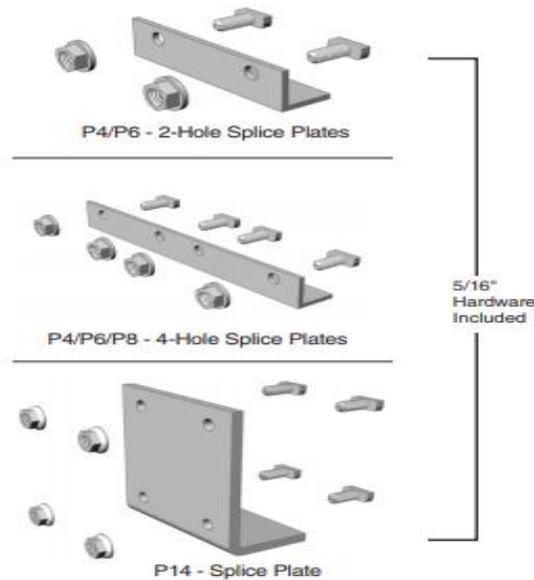


Fig. 3.9 Coples para diferentes medidas de riel.

Los arreglos que se pueden hacer a los SSFV dependen del número de módulos que se van a colocar, así como del relieve del lugar en donde se pondrá la instalación fotovoltaica. En muchas ocasiones es necesario revisar repetidamente la inclinación de la superficie para que la estructura quede totalmente cuadrada y no existan pérdidas por un error en el armado. La primera etapa consiste en el armado de la estructura, pero no hay que olvidar que al ser una instalación generadora de energía eléctrica debe contar por lo tanto con equipo y material eléctrico que es igual de importante.

El material y equipo eléctrico es prácticamente lo que cualquier otra instalación eléctrica requiere como lo es el sistema de protección, el cómo transmitir la energía hasta el punto en donde se encuentra la carga entre otros aspectos más, a continuación se describe el material y equipo eléctrico necesario.

Caja mistral. -La caja mistral es usada para colocar las protecciones del sistema, en este caso los interruptores termomagnéticos. La caja mistral son de la marca ABB y se pueden encontrar en varias presentaciones todas en relación con el número de paneles con las que va a contar el SSFV. En la figura 3.9 podemos observar una caja mistral usada para un sistema de 7 módulos.



Fig. 3.10 Caja mistral para 7 módulos solares.

En una instalación convencional de módulos solares se usan dos cajas mistrales. Una de ellas se coloca cerca o en la estructura de PLP que es la primera protección que se tiene usando interruptores termomagnéticos de CD. La segunda caja mistral se coloca cerca o en el lugar donde se encuentra la caja de conexiones principal igual cerca del envoy, en esta otra caja mistral el tipo de interruptores termomagnéticos son de CA.

Caja plexo. -Este tipo de cajas no siempre es necesaria de usar. Sirve para hacer empalmes por circunstancias en las que es necesario. La más usual de utilizar es la caja plexo de la marca LeGrand IP55. La figura 3.10 muestra la caja plexo.



Fig. 3.11 Caja plexo LeGrand.

Interruptor termomagnético. -Ninguna instalación eléctrica debe de funcionar si no cuenta con un sistema de corte de energía por fallas como lo pueden ser lo sobre voltajes o las sobre corrientes. Para un sistema fotovoltaico las protecciones son igual de importantes, aunque en relación con las instalaciones convencionales este sistema utiliza dos tipos de interruptores. La generar corriente continua con los paneles debe de colocarse interruptores termomagnéticos para corriente continua al igual que debe de colocarse interruptores para corriente alterna.

Los interruptores son seleccionados en relación con la carga que se tiene así también en relación con el voltaje y corriente con la que se cuenta. La marca más usada por la empresa es la de ABB pues tiene una gran calidad en su fabricación y también una gran confiabilidad al momento de operar por alguna falla. La figura 3.11 muestra los interruptores termomagnéticos.



Fig. 3.12 Interruptores termomagnéticos.

Inversor central. -Dependiendo de las características de la geografía del lugar se usará inversor central en caso de que haya mucha fauna cubriendo el área o que la irradiación solar no sea constante durante todo el día. La figura 3.12 muestra un inversor central de la marca Fronius el cual ya se encuentra conectado con la caja mistral en donde se tienen las protecciones del sistema fotovoltaico.

Al igual que con micro inversores al utilizar un inversor central se puede tener la medición de la generación de energía eléctrica que se está teniendo en ese momento. En el ejemplo de la imagen la cantidad de paneles instalados son 12 paneles por lo que se cuenta ya con una carga importante. Esta información puede ser monitoreada por la empresa instaladora y por el usuario.

La marca Fronius también cuenta con su propio software conectado a la red de internet por medio de una señal wi-fi con la que el usuario cuenta. Este software sirve como base de datos almacenando toda la información que día a día se va obteniendo para que en algún momento dado pueda extraerse y usar para beneficio de la empresa o del mismo usuario.



Fig3.13 Inversor central de la marca Fronius.

Micro inversor. -Una de las características de los micro inversores es que por cada módulo es un micro inversor. Esto hace el cambio de módulos por fallas más sencillo y en donde el sistema no deja de funcionar en su totalidad. Los micro inversores usados por la empresa son de la marca Enphase como se muestra en la figura 3.14.



Fig. 3.14 Micro inductor Enphase modelo IQ6+.

Funcionamiento del Inversor. - Los inversores son circuitos que convierten la corriente continua en corriente alterna. Más exactamente transfieren potencia desde una fuente de continua a una carga de alterna. Los convertidores en puente de onda completa pueden funcionar como inversores en algunos casos, pero en esos casos debe de preexistir una fuente de alterna. En otras aplicaciones, el objetivo es crear una tensión alterna sólo cuando hay disponible una fuente de tensión continua.

Convertidor en puente de onda completa. – Es el circuito básico que se utiliza para convertir continua en alterna. A partir de una entrada de continua se obtiene una salida en alterna cerrando y abriendo interruptores en una determinada secuencia. La tensión de salida V_o puede ser $+V_{cc}$, $-V_{cc}$, o cero, dependiendo de que interruptores están cerrados. En la fig. 3.15 podemos observar el circuito básico del inductor.

Interruptores cerrados	Tensión de salida, v_o
S_1 y S_2	$+V_{cc}$
S_3 y S_4	$-V_{cc}$
S_1 y S_3	0
S_2 y S_4	0

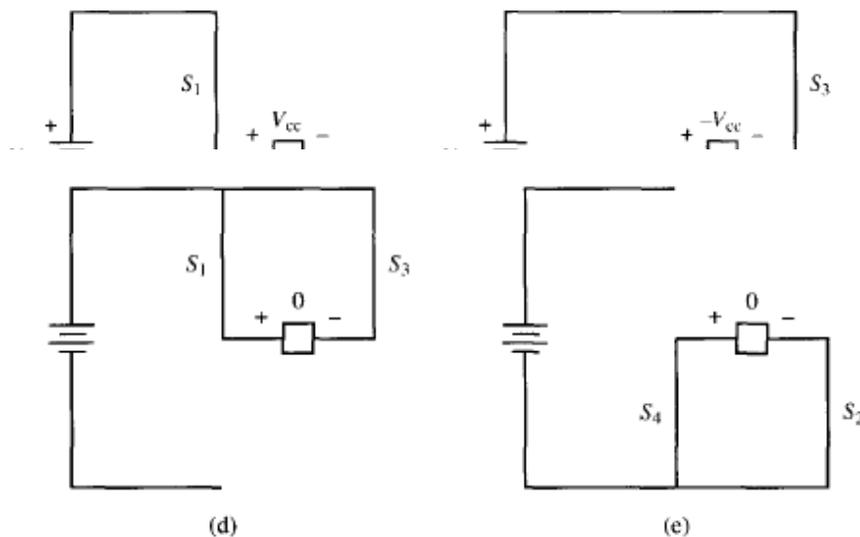
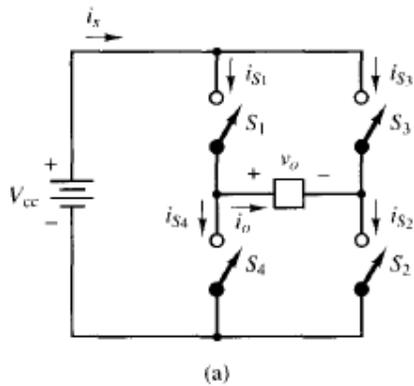


Fig. 3.15 a) Puentes convertidor de onda completa. b) S_1 y S_2 cerrados. c) S_3 y S_4 cerrados. d) S_1 y S_3 cerrados. e) S_2 y S_4 cerrados.

Se observa que S_1 y S_4 no deberían estar cerrados al mismo tiempo, ni tampoco S_2 y S_3 . De otra manera habría un corto circuito en la fuente de continua. Los interruptores reales no se abren y se cierran instantáneamente. Por tanto, deben tenerse en cuenta los tiempos de transición de la conmutación al diseñar el control de los interruptores. El solapamiento de los tiempos de conducción de los interruptores resultaría en un corto circuito, denominado en ocasiones fallo de solapamiento en la fuente de tensión continua. El tiempo permitido se denomina tiempo muerto.

Inversor de onda cuadrada. – El esquema de conmutación más sencillo del convertidor en puente de onda completa genera una tensión de salida en forma de onda cuadrada. Los interruptores conectan la carga a $+V_{CC}$ cuando S_1 y S_2 están cerrados y a $-V_{CC}$ cuando S_3 y S_4 están cerrados. La conmutación periódica de la tensión de la carga entre $+V_{CC}$ y $-V_{CC}$ genera en la carga una tensión con forma de onda cuadrada. Aunque esta salida alterna no es senoidal, puede ser una onda de alterna adecuada para algunas aplicaciones.

La forma de onda de la corriente en la carga depende de los componentes de la carga. En una carga resistiva, la forma de la onda de la corriente se corresponde con la forma de la tensión de salida. Una carga inductiva tendrá una corriente de salida con más calidad senoidal que la

tensión, a causa de las propiedades de filtrado de las inductancias. Una carga inductiva requiere ciertas consideraciones a la hora de diseñar los interruptores en el circuito en puente de onda completa, ya que las corrientes de los interruptores deben ser bidireccionales.

Para una carga serie R-L y una tensión de salida con forma de onda cuadrada, suponemos que los interruptores S_1 y S_2 se cierran en $t = 0$. La tensión en la carga es de $+V_{cc}$ y la corriente comienza a aumentar en la carga y en S_1 y S_2 . La corriente se expresa como la suma de las respuestas natural y forzada como se muestra en la figura 3.16, ver ec. (3.1).

$$i_o(t) = i_f(t) + i_n(t)$$

ec..
$$= \frac{V_{cc}}{R} + Ae^{-t/\tau}, \quad 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \quad [1]$$

Fig. 3.16 Corriente con relación al tiempo. Ecuación [1]

Donde A es una constante que se calcula a partir de la condición inicial y $\tau = L/R$.

En $t = T/2$, S_1 y S_2 se abren, y S_3 y S_4 se cierran. La tensión en la carga R-L pasa a ser $-V_{cc}$, y la corriente tiene la forma:

Como se muestra en la ecuación [2]

$$i_o(t) = \frac{-V_{cc}}{R} + Be^{-(t-T/2)/\tau}, \quad \frac{T}{2} \leq t \leq T$$

Ecuación [2]

Donde la constante B se calcula es a partir de la condición inicial.

Cuando se proporciona energía al circuito por primera vez y la corriente inicial de la inductancia es cero, tenemos un transitorio ante de que la corriente de la carga alcance el régimen permanente. En régimen permanente, i_o es periódica y simétrica con respecto a cero como se puede observar en la fig. 3.17.

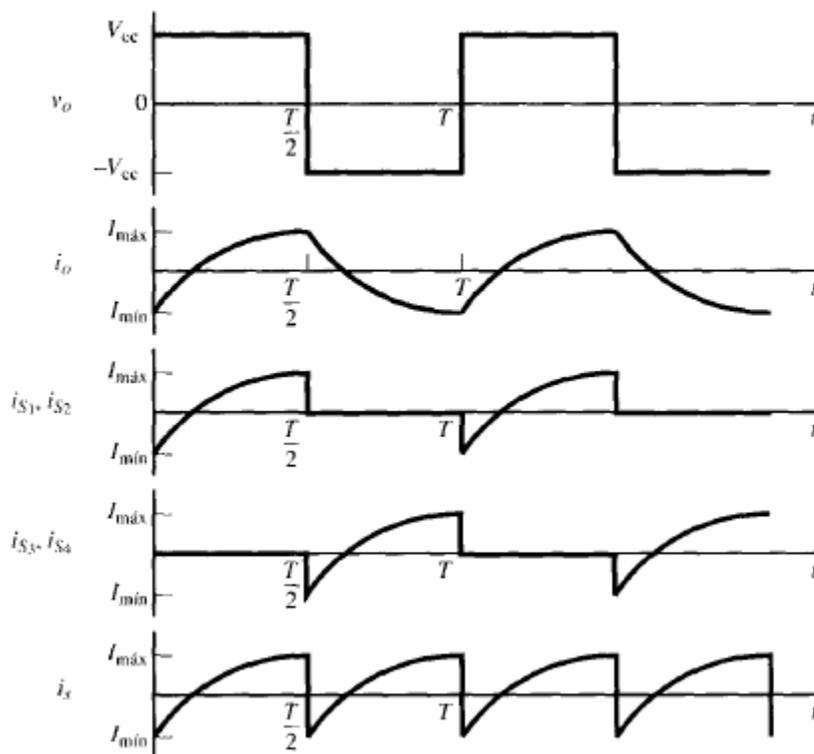


Fig. 3.17 Tensión de salida con forma de onda cuadrada y forma de onda de la corriente en régimen permanente para una carga R-L.

3.2 Fallas

Como en cualquier otra forma de generación de energía eléctrica, en los sistemas fotovoltaicos se pueden presentar fallas por diferentes razones. Es de suma importancia proteger los sistemas contra fallas como lo son sobre voltaje, sobre corriente y/o sobre carga. Entre más protecciones se coloquen en un sistema las fallas o daños que las fallas provocan se pueden minimizar y así evitar que los sistemas se dañen de una forma irremediable y perder parte o el total de la producción que se logra con el sistema.

Las fallas se pueden presentar en al módulo solar, en los micro inversores y en el inversor central. Aunque existen rangos en cuanto el daño que la falla puede causar, ninguna falla puede pasarse por alto y debe de darse solución a la falla lo más pronto posible para evitar que la falla pueda ocasionar que otros elementos lleguen a dañarse.

Sistema Puebla (32 kW). – Hace aproximadamente tres años en la ciudad de Cholula, Puebla se instaló un sistema de 100 módulos solares que se utilizan para alimentar motores eléctricos que se encuentran en una bodega de cemento y material para la construcción. Se instalaron 3 inversores centrales en los cuales se repartió la carga total generada por los módulos solares.

Al ir a inspeccionar el sistema fotovoltaico presencialmente se logró apreciar que módulos estaban dañados de una forma en que parecían haber explotado. Se analizó minuciosamente el módulo para dar una respuesta a la falla y se llegó a la conclusión de que no se habían dejado protecciones contra sobre corriente en corriente directa por lo que el módulo explotó.

En la figura 3.18 se puede apreciar cómo el módulo se quemó y el cristal que lo protege contra la intemperie se reventó.



Fig. 3.18 Módulo reventado y quemado por falla de sobre corriente en CC.

La solución fue cambiar el módulo por uno nuevo. Otro problema que se encontró en el sistema fue que agua se filtró en la tubería y los cables estaban húmedos por esta razón, por lo tanto, también se optó por cambiar el cable de alimentación de todo el sistema, se agregaron protecciones de interruptores termomagnéticos para corriente directa para proteger a los módulos contra otro posible sobre corriente.

Colegio Edron (32.5 kW). – Como antes se dijo las fallas también pueden presentarse en los elementos de conversión de energía como lo es el inversor central. Este sistema al ser de gran tamaño en potencia tuvo que ser instalado con un inversor central de la marca Fronius para poder canalizar toda la potencia a la carga final del sistema. Al llegar al lugar nos pudimos dar cuenta que el inversor presentaba un error. Al leer el manual de la marca notamos que era una falla entre fases a la salida del inversor es decir en AC. La figura 3.19 muestra la interfaz del inversor marcando el error.



Fig. 3.19 Interfaz marcando un error entre fases del sistema en CA.

La falla se estaba presentando porque el supresor de picos estaba dañado por lo que el voltaje que se estaba entregando en la salida del sistema no era el correcto. El voltaje de entrada al supresor estaba en el rango adecuado pero el voltaje que salía del mismo supresor estaba demasiado bajo para poder alimentar las cargas en las que estaba conectado el sistema. En la figura 3.20 se puede mostrar la entrada y salida del supresor de voltaje.



a)



b)

Fig. 3.20 a) Voltaje de entrada al supresor de pico. b) Salida del voltaje del supresor de pico.

La solución a la falla en este caso fue sencilla pues sólo fue necesario cambiar el supresor de pico dañado y así el voltaje de salida fuera el correcto pudiendo satisfacer las necesidades de la carga en el sistema.

Otro caso de falla que se a presentado a sido el de la desconexión del envoy a la red wifi del domicilio. Al no tener una buena señal de wifi hasta donde se encuentra instalado el envoy este se desconecta y se muestra la falla en el monitoreo de la generación del sistema fotovoltaico. Cuando esto se presenta la solución es instalar un PLC que no es más que un equipo que aumenta la potencia del wifi haciendo que el envoy tenga una mejor conexión con el wifi y así evitar nuevamente la desconexión.

4. Conclusiones

Durante el tiempo de residencia en la empresa como alumnos aprendimos muchas cosas que por una u otra razón no pudimos ver en las clases durante la carrera en el Tecnológico. Una perspectiva más amplia de la generación de energía eléctrica se nos presentó al ver en acción todo lo que teóricamente vemos y aprendemos en la escuela. Los sistemas fotovoltaicos son una gran elección en la actualidad para reducir los gastos del uso de la energía eléctrica en las residencias, comercio e inclusive en la industria.

Aunque la inversión en este tipo de sistemas no es económica en un mediano plazo la inversión se recupera gracias al ahorro que se tiene en los recibos de la empresa suministradora de energía eléctrica. Los beneficios económicos de este tipo de sistemas son muy amplios por lo que dentro de poco tiempo la mayoría de la industria va a contar con un sistema fotovoltaico para cubrir la mayoría de la carga con la que cuenta en sus instalaciones.

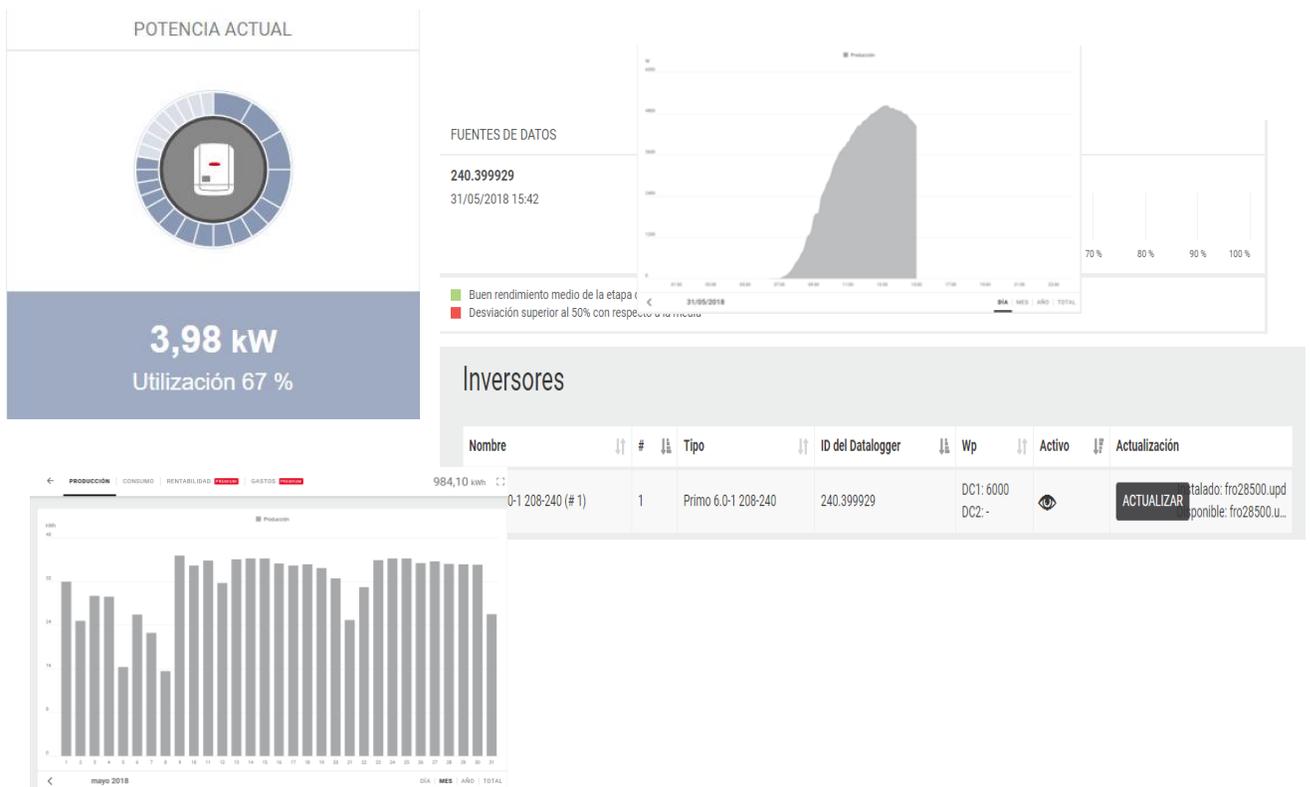
Independientemente de los beneficios económicos, también se tienen beneficios ambientales pues un sistema fotovoltaico no contamina al generar energía eléctrica por lo que es un sistema amigable con el medio ambiente reduciendo los contaminantes generados por las formas tradicionales como los son la quema de hidrocarburos en la generación de la energía eléctrica.

Al contar con disposición de la empresa para poder tomar capturas de pantalla de los diferentes monitoreos con lo que se cuenta de los clientes a continuación se presentan las características de generación de los micro inversores en relación a los inversores centrales. Se puede apreciar que hay varios factores a considerar al momento de instalar un sistema lo cual determinara la eficiencia en la generación.

Los sistemas que se presentan a continuación son con inversores centrales los cuales son de diferentes clientes, así como de diferentes zonas dentro de la Ciudad de México, así como otros estados de México.



Fig. 4.1 Sistema con Inversor central.



Por medio de la presente le saludamos e informamos que Elirmex S.A de C.V realiza la entrega de su proyecto fotovoltaico interconectado a la red eléctrica de CFE conformado por 18 Módulos marca Sharp modelo NDAH-325 de 325 W, 1 inversor central marca Fronius modelo 6.0, así como estructura y material eléctrico para su colocación.

Fig. 4.2 Sistema en Tulantepec, Hidalgo.



Fig. 4.3 Sistema de 18 módulos.

La empresa también tiene instalaciones hechas con micro inversores los cuales se presentan a continuación.



Fig. 4.4 Sistema con 8 micro inversores.

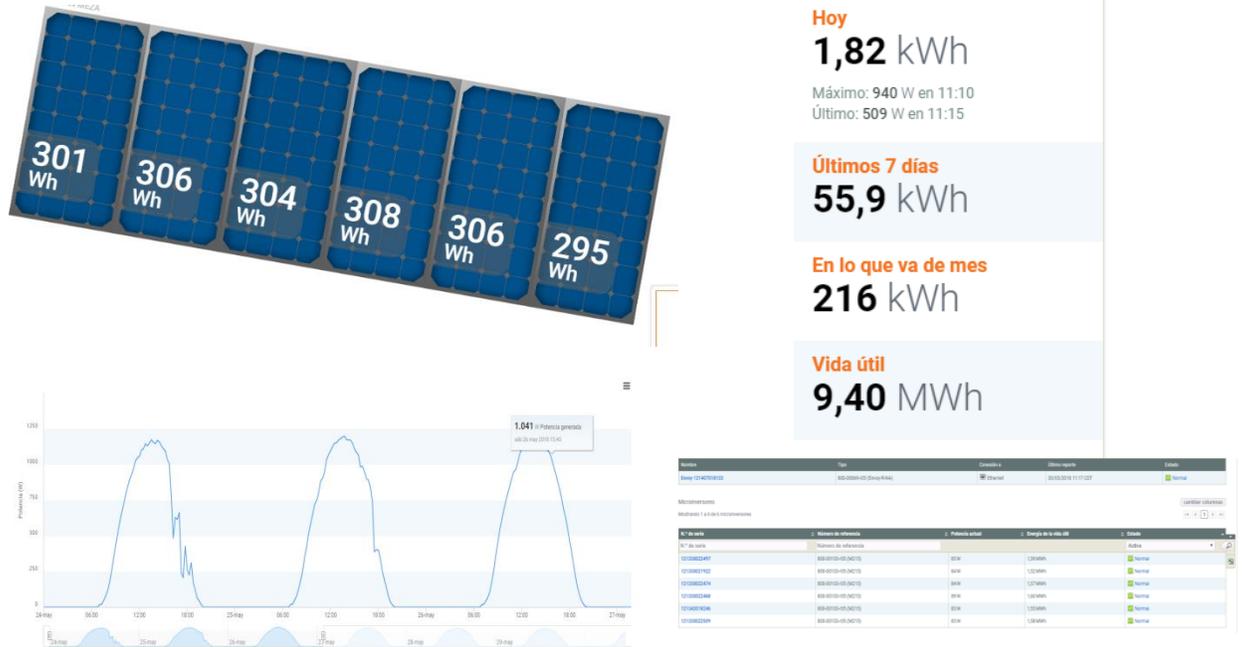


Fig. 4.5 Sistema con 5 micro inversores.

Referencias Bibliográficas

- [1] Robert Lasseter, P. Piagi. "Providing premium power through distributed resources". Universidad de Wisconsin-Madison, 33rd Hawaii International Conference, 2000.
- [2] R. H. Lasseter and P. Paigi, "Microgrid: A conceptual solution," in Proc IEEE PESC, Aachen, Germany, 2004, pp. 4285–4290.
- [3] Minh, Nguyen, Yong Tae, "A comparison of Microgrid Topologies Considering Both Market Operations and Reliability" *Electric Power Components and Systems* Vol. 42, pp. 585-594, 2014
- [4] Ran Wang, Ping Wang, Gaoxi Xiao, Shimin Gong, "Power demand and supply management in microgrids with uncertainties of renewable energies" *Electrical Power and Energy Systems*, pp. 260–269
- [5] T.L Vandoom, J.D.M De Kooning, B. Meersman. L. Vandevelde. Review of primary control strategies for islanded microgrids with power-electronic interfaces. ELSEVIER, *Renewable and sustainable energy reviews*. 2013. Pp 626-627
- [6] Mehriar Aghazadeh Tabrizi, "Participation of non-conventional energy resources in power system frequency control". A dissertation presented to the faculty of the graduate school Tennessee Technological University. Thesis doctoral, December 2013.
- [7] Christopher Michael, "Towa Ards Real-Time Power Management of Microgrids for Power System Integration: A Decentralized Multi-Agent Based Approach, Tesis Doctoral, Nov 2012.
- [8] Prasenjit B., S. Chowdhury, S. Halder nee Dey, S.P. Chowdhury, "A literature review on integration of distributed energy resources in the perspective of control, protection and stability of microgrid", *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (2012) 5545–5556
- [9] Daniel W. Hart. (2001). *Electrónica de potencia*. Madrid, España: Pearson Educacion.