



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

INGENIERÍA ELÉCTRICA

REPORTE DE RESIDENCIA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 30 KW.

ASESOR INTERNO

DR. RAFAEL MOTA GRAJALES

ASESOR EXTERNO

DR. NEIN FARRERA VAZQUEZ

ALUMNOS

**DANIEL ALONSO MACIAS DIAZ
STEPHANY LIZETH RIVERA VALENCIA**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, ENERO DE 2016.

Índice

1.	Introducción.....	4
1.1	Antecedentes.....	4
1.2	Estado del Arte.....	4
1.3	Justificación.....	5
1.4	Objetivos.....	6
1.5	Metodología; diagrama a bloques hardware.....	6
2.	Fundamento teórico.....	7
2.1	El Sol.....	7
2.1.1.	Características físicas.....	7
2.2	Radiación Solar.....	8
2.2.1.	Tipos de radiación solar.....	8
2.2.2.	Medición de la radiación solar.....	9
2.2.3.	Distribución espectral de la radiación solar.....	9
2.2.4.	Efecto atmosférico sobre la radiación solar.....	10
2.2.5.	Irradiación y constante solar.....	10
2.2.6.	Componentes de la radiación en superficie.....	10
2.2.7.	Posición del sol.....	12
2.2.8.	Geometría del movimiento del sol.....	12
2.2.9.	Solarimetria.....	13
2.3	La Energía Solar.....	14
2.4	Energía Solar Fotovoltaica.....	16
2.4.1.	Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	17
2.4.2.	Instalaciones o sistemas autónomos de la red eléctrica.....	17
2.4.3.	Instalaciones o sistemas conectados a la red eléctrica.....	18
2.5	Componentes de un sistema fotovoltaico.....	19
2.5.1.	Sistema de captación de energía.....	19
2.5.2.	Sistema de acumulación de energía eléctrica.....	21
2.5.3.	Sistema de regulación.....	27
2.5.4.	Sistema de adaptación del suministro eléctrico.....	29
2.5.5.	Inversores.....	30
2.5.6.	Tipos de inversores.....	33
2.5.7.	Los inversores con relación a la red eléctrica.....	34
2.5.8.	Rendimiento de los inversores.....	35
2.5.9.	Sistema de transporte de la energía eléctrica.....	36

2.6	Sistema de control, medida y protección	37
3.	Desarrollo	40
3.1	Características de la central fotovoltaica	40
3.2	Determinación de la energía diaria solicitada	40
3.3	Elección del tipo de panel fotovoltaico.....	40
3.4	Inclinación y radiación de los paneles solares	42
3.5	Cálculo del número de módulos o paneles fotovoltaicos necesarios	42
3.6	Cálculo del número de módulos conectados en serie y del número de paneles conectados en paralelo.....	43
3.7	Elección de los inversores y cálculo de conexión de paneles a cada una de ellos.	45
4.	Resultados y Conclusiones	47
4.1	Resultados	47
4.2	Conclusiones	53
5.	Referencias Bibliográficas.....	54
6.	REFERENCIAS WEB	55
7.	Anexo	56

Diseño e Implementación de una Central Fotovoltaica de 30 kW.

1. Introducción

1.1 Antecedentes

En los últimos años la producción de energía eléctrica se ha incrementado, por ello cada vez encontramos nuevos métodos y alternativas para una generación eléctrica sustentable. Las fuentes alternas de energía, han venido desplazando poco a poco y produciendo cada vez más energía limpia que las fuentes convencionales, que producen contaminantes al medio ambiente.

La generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos ha tenido un gran auge en los últimos años. La producción se ha venido incrementando considerablemente debido a factores económicos y ambientales, siendo este último el principal motivo para que las leyes apoyen a una iniciativa de reducción de CO₂ al planeta.

La generación de energía fotovoltaica mundial tanto conectada a la red y aislada se estimaba en el año 2003 de 2.6 GW, y para el año 2013 la producción se incrementó a 138.9 GW. En México la generación fotovoltaica se incrementó considerablemente. La producción de energía solar paso de 14.3 kW a 1MW en 10 años.

La reducción en los costos por kW/hora, y la fácil implementación de una pequeña central fotovoltaica ha hecho que cada vez se aproveche más el recurso del sol para la generación de energía. Tanto en empresas, como en casas residenciales se puede aprovechar el recurso solar para la cogeneración de electricidad.

1.2 Estado del Arte.

Actualmente el desarrollo de energías renovables en todo el país está en pleno auge, muchas empresas están siendo cada vez más autosustentables. La empresa Hewlett Packard (HP), hizo una de las centrales solares más grandes que actualmente generan energía en el país.

La central fotovoltaica de HP consta de tres mil quinientos paneles fotovoltaicos, los cuales están en su totalidad sobre el techo de una de sus instalaciones en Guadalajara. La capacidad de generación de dicha central es de 820 Kilowatts hora, la cual le alcanzara a cubrir el 33% de toda la energía que la empresa consume.

Uno de los recientes aportes sobre materia de energía fotovoltaica se desarrolló en Baja California Sur, con la central fotovoltaica aura solar 1, la cual se llevó a cabo con inversionistas de la corporación aura solar y desarrollada por la empresa Gauss Energía, la central cuenta con 132,000 paneles aproximadamente.

La central aura solar cuenta con una capacidad instalada de 39 MW. de potencia, esta central cuadruplica la energía fotovoltaica total instalada en todo el país. Esta central esta interconectada con las líneas de transmisión de C.F.E., en su totalidad le proporciona electricidad al 65% de las viviendas de La Paz.

La empresa Granite Chief dedicada a proyectos fotovoltaicos, inauguró un parque solar el cual genera 1 MW. de potencia. La central está ubicada en Guanajuato, la energía producida solo estará destinada para autoabastecer un centro de negocios formado por cuatro empresas. La energía logra abastecer el 20% del consumo del centro.

Comisión Federal de Electricidad al igual que empresas privadas está trabajando en la implementación de energías limpias prueba de ello es la central solar Santa Rosalía en el estado de baja california. Esta central cuenta con 4,172 módulos fotovoltaicos de 240 watts cada uno, con una capacidad total instalada de 1 MW.

La central fotovoltaica se interconecta al sistema eléctrico aislado de Santa Rosalía que cuenta con una capacidad instalada de 30 MW. a partir de generación con diésel y gasolina. Este proyecto abastece de energía limpia al estado de Baja California ubicando a este como uno de los principales aportadores de energía solar fotovoltaica de todo el país.

1.3 Justificación

La central fotovoltaica que se pretende poner en marcha debido a su interconexión al sistema eléctrico nacional, disminuirá considerablemente los costos de energía eléctrica que la empresa tenga en consumo total de electricidad, haciendo favorable su implementación debido a los distintos quipos y la carga que cada uno demanda.

La central disminuirá la producción de contaminantes a la atmosfera terrestre debido a la producción de electricidad por fuentes convencionales. Gracias a que generara unos 54 750 KW/año evitando durante su tiempo de operación las emisiones de unas 700 Tn de CO2 al medio ambiente.

La central fotovoltaica será la de mayores dimensiones de su tipo implementada en el Estado de Chiapas hasta la fecha y las experiencias adquiridas servirán de referencia para la implementación de este tipo de

tecnología altamente compatible con el medio ambiente en la entidad. Siendo un buen ejemplo para la ciudadanía en general con el fin de crear conciencia a la utilización de este tipo de generación de energía.

1.4 Objetivos

Analizar, diseñar e implementar una central fotovoltaica de 30 KW, interconectando esta nueva central fotovoltaica al sistema eléctrico nacional, de manera que permita un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

1.5 Metodología; diagrama a bloques hardware

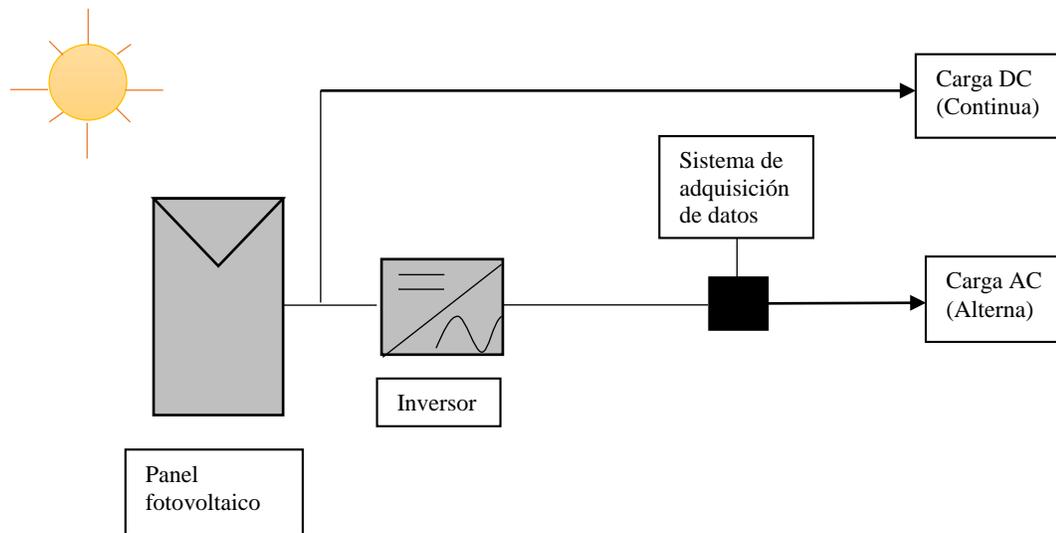


Figura 1.4 Diagrama de bloque (hardware). Componentes de un sistema solar fotovoltaico.

La principal fuente proveedora de energía en este tipo de sistemas es el sol. La radiación solar es captada por el panel fotovoltaico, la cual es transformada en energía eléctrica. La energía captada es transportada a un inversor el cual se encarga de transformar el potencial de energía eléctrica en corriente continua a corriente alterna. El sistema de adquisición de datos tiene la función de coleccionar toda la información proveniente del inversor.

2. Fundamento teórico

2.1 El Sol

El Sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares.

La energía irradiada por el Sol procede de la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio. El astro irradia en un segundo más energía que la consumida por la humanidad en toda la historia. Una parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética. La Tierra recibe en el exterior de su atmosfera una potencia total de $1,73 \cdot 10^{14}$ KW. Bajo la perspectiva humana, la fuente energética solar puede considerarse como inagotable.

2.1.1. Características físicas

El Sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, de $1,39 \times 10^9$ m de diámetro y situado a la distancia media de $1,5 \times 10^{11}$ m de la Tierra, unos 8 minutos de viaje a la velocidad de la luz. Para un observador terrestre el disco solar subtende un ángulo de aproximadamente 32 minutos. Visto desde la Tierra el sol rota alrededor de su eje una vez cada cuatro semanas. La edad estimada de la estrella es de 5 mil millones de años, restándole otros 8 mil millones de años más de vida.

El núcleo solar es la región comprendida dentro del 23% de su radio, a partir del centro. Este corresponde a tan solo el 15% del volumen pero contiene el 40% de la masa y genera el 90% de la energía. En esta región, la temperatura es del orden de 10^7 K y la densidad de 10^5 kg m⁻³. A una distancia del Sol 70% del radio solar, la temperatura es de unos 10^5 K y la densidad 70 Kg m³. La zona que comprende desde el 70% al 100% del radio solar, se conoce como zona convectiva y su temperatura cae hasta valores entre 5.000 y 6.000 K, mientras que la densidad desciende a 10^{-5} kg m⁻³.

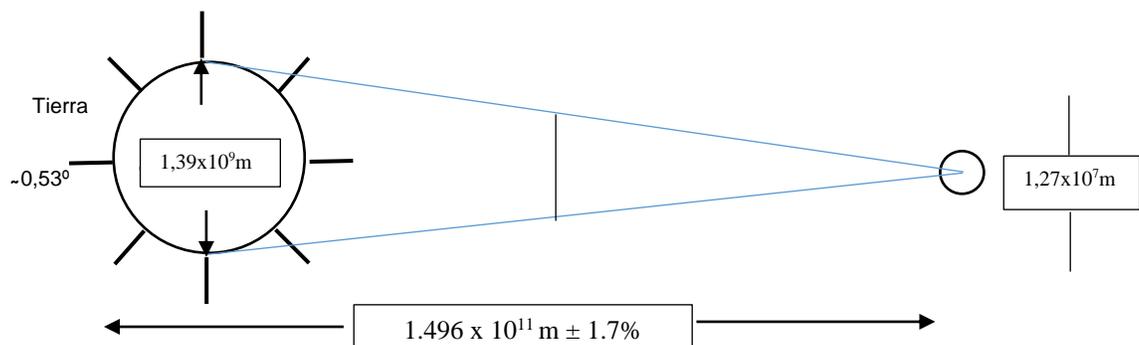


Figura 2.1.1 Relación de tamaños y distancia Tierra-Sol.

La capa externa de esta región recibe el nombre de fotosfera y es considerada como la superficie del Sol, por ser esta región opaca, desde donde se emite la gran mayoría de la radiación solar hacia el espacio. La fotosfera es la superficie aparente del Sol cuando se observa con filtro adecuado, sin embargo, como todo el Sol desde el núcleo hasta su superficie se encuentra en forma gaseosa, no hay una superficie física claramente definida, como la hay en la Tierra. Sobre la fotosfera existen también gases, en condiciones tales que son esencialmente transparentes, constituyen la corona solar, observable durante los eclipses totales de Sol. La corona solar es la atmósfera del Sol. De forma similar a como sucede en la atmósfera terrestre, la corona es cada vez más tenue a medida que se está a mayor distancia del núcleo solar, hasta confundirse con el vacío relativo que existe en el espacio interestelar.

2.2 Radiación Solar

El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 5.500°C , en cuyo interior tiene lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

La radiación en el sol es $63.450.720 \text{ W/m}^2$. Si suponemos que el sol emite en todas direcciones y construimos una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir, que tenga un radio de la distancia de 149.6 millones de Km podremos determinar cuál es la radiación en este punto. Este valor de la radiación solar recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar (1.353 W/m^2), variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

A la Tierra solo llega aproximadamente $1/3$ de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

2.2.1. Tipos de radiación solar

En función de cómo inciden los rayos en la Tierra se distinguen tres componentes de la radiación solar:

DIRECTA: Es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera

DIFUSA: Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera

ALBEDO: Es la radiación directa y difusa que se recibe por la reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

Aunque los tres componentes están presentes en la radiación total que recibe la Tierra, la radiación directa es la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Cuando la radiación directa no puede incidir sobre una superficie debido a un obstáculo, el área en sombra también recibe radiación gracias a la radiación difusa.

Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo que recibe una superficie dependen de:

- Condiciones meteorológicas: en un día la radiación es prácticamente difusa, mientras que en uno soleado es directa
- Inclinação de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada
- Presencia de superficie reflectante: las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.

2.2.2. Medición de la radiación solar

La irradiación (H_s) corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un intervalo de tiempo determinado. Esta es la magnitud de mayor interés para la ingeniería solar. Las redes de estaciones meteorológicas automáticas miden la irradiancia, el valor instantáneo de la energía solar que alcanza la superficie, que es almacenada, filtrada y puesta a disposición de los usuarios como la irradiación en base horaria, diaria o mensual. Cuando se necesitan largas series de datos para diseñar sistemas solares utilizando años tipo se puede recurrir a atlas de radiación o bases de datos meteorológicos. Existe una gran disponibilidad de materiales sobre la radiación e índices de claridad vía internet para muchas zonas del planeta.

2.2.3. Distribución espectral de la radiación solar

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Pero debido al efecto de la fotosfera, que se encuentra próxima a los 6.000 K, el flujo de energía emitido por el Sol corresponde al de un cuerpo a esta temperatura.

La energía emitida por un cuerpo negro a 6.000 K en las diferentes longitudes de onda según expresa matemáticamente la Ley de Planck, esta distribución espectral hace que se considere que la radiación solar, o de onda corta, procedente del Sol tiene longitudes entre 0,3 μm y 4 μm ,

aun cuando se reciben pequeñas cantidades de energía en otras zonas del espectro. La radiación emitida desde el núcleo del Sol está localizada en la zona del espectro correspondiente a los rayos gamma y los rayos X. aumentando la longitud de onda a medida que la temperatura desciende al alejarnos del núcleo solar.

El máximo de emisión de un cuerpo negro se desplaza hacia longitudes de onda mayores a medida que disminuye su temperatura según predice la Ley de Wien. Las ondas electromagnéticas que transportan mayor cantidad de energía proveniente del Sol tienen una longitud de onda aproximada de $0,55 \mu\text{m}$. Es por ello que casi la mitad de la energía solar que recibimos se encuentra en la región visible del espectro.

2.2.4. Efecto atmosférico sobre la radiación solar

La distribución temporal de la energía solar que alcanza la superficie es muy irregular. No solamente varia la insolación máxima diaria (horas en las que el Sol está por encima del horizonte del lugar) sino que la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmosfera que atraviesa. En término medio solo el 47% de la radiación incide sobre la atmosfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser dispersada por el polvo en suspensión, vapor de agua y moléculas de aire. La energía restante, un 53% es reflejada hacia el espacio exterior o absorbida en la atmosfera.

2.2.5. Irradiación y constante solar

La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante determinado sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como *irradiancia* (I_s) y se expresa en Wm^{-2} . Para una distancia media Tierra-Sol el valor en la irradiancia en un plano exterior a la atmosfera y perpendicular a los rayos del Sol se conoce como <<Constante solar>> (S_s). El valor determinado por la NASA indica que la constante solar es de 1.353 Wm^{-2} ($\pm 1,6 \%$). Un estudio detallado del espectro revela que un 5% de la energía corresponde al intervalo de longitudes de onda inferiores a $0,38 \mu\text{m}$ y el 49% a longitudes de onda en el visible, entre $0,38$ y $0,78 \mu\text{m}$ y el 46% restante a longitudes de onda superiores a las $0,78 \mu\text{m}$.

2.2.6. Componentes de la radiación en superficie

La atmosfera terrestre está constituida por gases, nubes y partículas sólidas en suspensión. Los diversos constituyentes de la atmosfera provocan la atenuación de la radiación. A medida que la radiación solar atraviesa la masa de aire sufre procesos de la absorción, reflexión y refracción. En referencia a la absorción: los rayos X y otras radiaciones

de onda corta del espectro solar son absorbidos en la ionosfera por el N_2 y el O_2 ; la mayor parte de la radiación ultravioleta sufre el efecto del O_3 y para longitudes de onda superiores a $2,5 \mu m$ se produce una fuerte absorción por el CO_2 y el H_2O . El efecto atmosférico sobre la radiación se encuentra perfectamente expuesto en Liou (2002).

La irradiancia se atenúa disminuyendo su valor respecto al dado en la cima de la atmosfera. En las condiciones más óptimas en cuanto a la transmisión atmosférica la atenuación de la radiación hasta la superficie es de un 25%. Por ello una irradiancia de $1.000 Wm^{-2}$ se utiliza como valor estándar de referencia en la ingeniería relacionada con la energía solar. A consecuencia de la interacción de la radiación solar con la atmosfera la energía que llega a la superficie tiene diferentes componentes, nombradas como la radiación directa –no ha sufrido ninguno de los citados fenómenos y llega a la superficie en la dirección del disco solar- y radiación difusa- procede del resto de direcciones de la bóveda celeste-. A las componentes directa y difusa hay que añadir que un captador inclinado también puede recibir radiación previamente reflejada en el suelo. El conjunto de radiaciones que alcanza la superficie es la radiación global.

El tanto por ciento de la energía solar que se refleja en una superficie respecto al total incidente, llamado *reflectividad*, depende de longitud de onda de la radiación y de la naturaleza de la superficie. Las diferentes reflectividades en función de la longitud de onda dan lugar a la asignatura espectral de una superficie. La reflectividad global considerando todo el espectro de la radiación solar se conoce como albedo de la superficie.

El porcentaje en la radiación global de una u otra componente depende de las condiciones meteorológicas. Cuando más nublado es el día más importante es la radiación difusa y por el contrario en días despejados la componente directa siempre representa el porcentaje mayoritario.

Un parámetro importante relacionado con la componente directa y difusa de la radiación es el índice de claridad (K_T) que se define como el porcentaje de irradiancia global en superficie respecto a la que alcanza la cima de la atmosfera en el plano horizontal. El índice de claridad tanto diario como mensual ha resultado de gran utilidad en la ingeniería solar. Basándose en él han desarrollado diversidad de aplicaciones, desde algoritmos de cálculo de la energía incidente en una superficie inclinada hasta estudios de utilizabilidad en los que se requiere un valor umbral de energía para el funcionamiento adecuado del sistema Duffie y Beckman, (1991). Las funciones de la densidad de probabilidad de los índices de claridad han mostrado ser universales. Los valores diarios están relacionados con el valor medio y altura solar máxima mensual.

2.2.7. Posición del sol

Junto a las condiciones atmosféricas hay otro factor que determina la incidencia de la radiación sobre un captador solar, el movimiento aparente del Sol a través de la bóveda celeste, a lo largo del día y del año. La tierra describe un movimiento de translación alrededor del sol que sigue una trayectoria en forma de elipse, con una excentricidad de un 3%. La línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama *eclíptica*. En su movimiento de translación el eje de rotación terrestre forma siempre el mismo ángulo de $23,45^\circ$ con la perpendicular al plano de la eclíptica. El ángulo que forma parte de la eclíptica con el plano del ecuador varía a lo largo del año. Este ángulo, conocido como *declinación*, varía entre $-23,45^\circ$ el día del solsticio de verano.

Los trópicos de Cáncer ($23,45^\circ$ Norte) y de Capricornio ($23,45^\circ$ Sur) corresponden los lugares extremos de latitud tal que el Sol se sitúa en la perpendicular al plano del horizonte un instante del año, al mediodía del solsticio de verano y de invierno, respectivamente.

2.2.8. Geometría del movimiento del sol

Desde el punto de vista de un observador sobre la superficie de la Tierra, el Sol parece describir a un arco de círculo desde su salida (orto) hasta su puesta (ocaso). A mitad de este recorrido, al mediodía solar, se sitúa por definición el plano meridiano local. La vertical del observador sobre la superficie terrestre intersecta a la bóveda celeste en un punto llamado cenit. El eje de la Tierra forma un ángulo igual a la latitud del lugar (\varnothing) con el plano del horizonte del observador.

La posición del Sol se puede referir en dos sistemas de coordenadas centradas en el observador según el sistema de referencia escogido: horarias (δ_s declinación, ω_s ángulo horario) y horizontales (h_s altura solar, a_s acimut). Estas coordenadas determinan el vector solar entendido como un vector con origen en el observador y extremo en el Sol.

a) Coordenadas horarias.

δ_s : declinación solar ($^\circ$): posición angular del Sol al mediodía solar con respecto al plano del Ecuador terrestre.

ω_s ángulo horario solar ($^\circ$): desplazamiento angular del Sol sobre el plano de la trayectoria solar. Se toma como origen del ángulo horario el mediodía solar y valores crecientes en el sentido del movimiento del Sol. Cada hora es igual a 15° .

b) Coordenadas horizontales.

h_s altura solar ($^\circ$): ángulo que forma la radiación solar directa y el plano del horizonte. El ángulo complementario es el llamado ángulo cenital solar.

a_s acimut solar ($^\circ$): ángulo que forma la radiación solar directa y el mediodía del observador. Se toma como origen de acimuts el mediodía solar y valores crecientes en sentido horario observando el norte desde el sur del lugar (en el hemisferio norte).

2.2.9. Solarimetria

Para poder diseñar y evaluar de manera óptima los sistemas de captación y conversión solar es necesario contar con datos confiables sobre varios aspectos de la radiación solar en el lugar donde se pretende instalar el sistema: intensidad total, radiación directa y difusa, espectro de radiación, ángulo de incidencia y nubosidad. Estos datos deben registrarse en función del tiempo durante periodos seleccionados y, de ser posible, con valores máximos y mínimos. Los valores máximos son necesarios para determinar la capacidad del sistema, mientras que su rendimiento en un periodo largo dependerá de la intensidad promedio y sus variaciones en el tiempo. La información sobre la probabilidad de periodos de nubosidad con duración específica permite determinar para algunos sistemas, los requerimientos de almacenamiento o respaldo de energía.

En el caso de equipos con colectores planos, es necesario conocer la intensidad de la radiación solar sobre un plano paralelo al colector, el ángulo de incidencia de la radiación para estimar las perdidas por reflexión y el espectro de la energía solar puesto que las superficies selectivas están optimizadas para un rango de longitudes de onda. Para sistemas con colectores de enfoque se requieren datos sobre la intensidad y dirección de la radiación directa.

La energía solar incidente sobre los planos verticales es importante para diseños de helioarquitectura; los datos sobre el espectro de la energía solar sirven para determinar el rendimiento de las celdas fotovoltaicas.

Existen varios equipos para medir la radiación solar. La medición más común es la duración de la insolación que se realiza con heliógrafos. La radiación solar total se mide con piranómetros y estos, con diferentes filtros, sirven también para medir la radiación total en diversos espectros. Un piranómetro adaptado para no recibir la radiación directa sirve para medir el componente difuso. El pirheliómetro mide la radiación directa. Existen otros equipos para medir la radiación sobre diversos planos y la radiación reflejada por el suelo.

Desde hace varios años funciona en México una empresa que construye equipos solarimétricos. Sin embargo, para mediciones confiables, la Organización Meteorológica Mundial recomienda que cada estación de radiación solar cubra un máximo de 500 Km². Esto significa que en México se requerirían 4000 estaciones; pero hasta ahora solo tres han realizado mediciones en forma regular de acuerdo con las normas pirheliométricas internacionales. Debido a su alto costo, pocos países tienen una red extensa de estaciones de este tipo. Existen por otro lado, métodos indirectos para calcular con bastante precisión condiciones de insolación a partir de datos indirectos más fáciles de obtener como es la duración de la insolación.

2.3 La Energía Solar

La energía solar es la energía que produce el Sol debido a la continua reacción termonuclear que en su interior se lleva a cabo a temperaturas de varios millones de grados. La reacción básica en el interior del Sol es la fusión nuclear en la cual cuatro protones (de Hidrogeno) se combinan para formar un átomo de Helio, como consecuencia de ello, la masa "perdida" se convierte en energía en forma de radiación (energía electromagnética), de acuerdo a la bien conocida Ley de Einstein.

Este proceso tiene lugar en el núcleo de la esfera solar para luego ser transferida a la superficie a través de una sucesión de procesos radiacionales y convectivos, incluidos los fenómenos de emisión, absorción y "re-radiación"; de tal manera que la energía solar que nos llega a la tierra es radiada por el Sol, desde la parte más externa de la esfera solar llamada fotosfera, a una razón de 66 MW/m²

El sol produce constantemente energía electromagnética, que nos llega directamente a la Tierra. Así lo viene haciendo desde hace unos 4.5 millones de años y parece que seguirá su producción por varios millones de años más. Esta radiación que llega del Sol es la principal fuente de energía sobre la Tierra y, sin ella, no sería posible la vida. Dicha energía no es constante en toda la superficie terrestre ni a lo largo del año, puesto que varía en función de la latitud. La radiación también dependerá de la meteorología diaria: los días de lluvia o nublados será menor que los días claros, esta también se ve afectada por la claridad atmosférica.

Toda la energía disponible procede de forma directa o indirecta del Sol, salvo la nuclear, la debida a los mares y la geotérmica. Para poner de manifiesto esta enorme cantidad de energía procedente del Sol se calcula que la que nos llega a la Tierra en 10 semanas de intensidad solar media equivale a todas las reservas conocidas de combustibles fósiles. Sin embargo, su utilización ofrece serias dificultades por su estacionalidad, su alternancia día-noche, su dependencia de otras condiciones atmosféricas, su baja densidad y, en muchas aplicaciones, su coste, que dista aun de ser competitiva con los combustibles fósiles.

El sol es la principal fuente primaria de energía, que puede ser usada directamente, en sistemas pasivos, así llamados porque no utilizan otra fuente de energía, o en sistemas activos, que usan otra fuente de energía, generalmente eléctrica, empleada para mover el flujo calefactor.

La energía solar puede transformarse en eléctrica bien directamente mediante células fotovoltaicas, o bien de forma indirecta, a través de sistemas térmicos de concentración, utilizados para producir el vapor que moverá las turbinas generadoras.

En la siguiente tabla se hablarán de las ventajas y los inconvenientes que existen con la energía solar:

Tabla 2.3 Ventajas e inconvenientes de la energía solar.

ENERGIA SOLAR	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso impacto ambiental • No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente • Distribuida por todo el mundo • No tiene costes una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo

	<ul style="list-style-type: none"> • No hay dependencia de las compañías suministradoras
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> • Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos • Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones • Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno

2.4 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y, por tanto, inagotable, limpia y se puede aprovechar en el mismo lugar en que se produce (autogestionada).

La energía solar fotovoltaica consiste en transformar la energía luminosa procedente del sol en energía eléctrica, mediante la exposición al sol de ciertos materiales convenientes tratados (silicio purificado a partir de arena mediante complejos procedimientos, fundamentalmente) y permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad puede utilizarse de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

La bajada de costes en los sistemas fotovoltaicos y la ampliación de la demanda han significado un rápido crecimiento del mercado mundial fotovoltaico, pasando de 1 MW en el año 1978 a 57 MW, aproximadamente, en la década de los noventa.

La conversión fotovoltaica consiste en transformar directamente la energía luminosa en energía eléctrica, por medio de células solares o fotovoltaicas. El efecto fotovoltaico se consigue cuando la radiación solar entra en contacto con un material semiconductor cristalino. La luz transporta energía en forma de fotones y al incidir estos sobre

determinados materiales se origina un movimiento de electrones con una diferencia de potencial en los extremos de estos materiales semiconductores, convirtiéndose en pequeñas pilas o generadores eléctricos. Las células solares disponibles comercialmente son de silicio, mono o policristalino. La fabricación de células monocristalinas presenta mayor eficiencia, pero tienen un coste mayor y rendimientos aun bajos. Para fabricar un panel de células solares se requieren las siguientes fases:

- Obtención del silicio, a partir de la cuarcita y mediante hornos de arco eléctrico
- Cristalización
- Obtención de obleas o láminas de un espesor de 2 a 4 mm.
- Fabricación del modulo

Los sistemas de concentración pueden ser estáticos o dinámicos. Los estáticos no tienen seguimiento solar y utilizan sobre todo medios refractivos, células bifaciales y permiten concentrar la radiación por reflexión.

Uno de los elementos auxiliares básicos de un sistema fotovoltaico son los soportes de los paneles, que deben ser resistentes a la acción de los agentes atmosféricos y tener un buen ángulo de inclinación para un mejor aprovechamiento de la radiación.

La sostenibilidad energética en un futuro vendrá dada por el uso de energías renovables.

2.4.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos

La clasificación genérica más extendida es la que agrupa a las instalaciones fotovoltaicas dentro de dos categorías, atendiendo a la posibilidad de estar o no conectadas a una red de distribución eléctrica pública. Según este criterio, las instalaciones fotovoltaicas se clasifican en:

- a) Instalaciones o sistemas autónomos de la red eléctrica
- b) Instalaciones o sistemas conectados a la red

2.4.2. Instalaciones o sistemas autónomos de la red eléctrica.

La energía producida se utiliza para pequeños consumos, situados en el mismo lugar (o en sus cercanías) de la instalación. Las aplicaciones más comunes son:

- Electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica
- Aplicaciones agrícolas y ganaderas: bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas.
- Señalización y comunicaciones: navegaciones aérea y marítima, señalización de carreteras, repetidores de telecomunicaciones etc.
- Iluminación pública de calles, monumentos, paradas de autobuses etc.
- Sistemas de depuración de aguas.

En estas aplicaciones, a fin de poder disponer de electricidad durante la noche o en periodos de poca insolación, se hace necesaria la acumulación de energía eléctrica, generalmente mediante baterías o acumuladores, con el correspondiente controlador de carga o regulador. Si la energía eléctrica se utiliza en forma de corriente alterna, se hace necesario, además, de un inversor.

Estos sistemas deben dimensionarse adecuadamente para satisfacer la totalidad de las necesidades energéticas, a menos que disponga de un sistema de apoyo convencional, como por ejemplo, un grupo electrógeno alimentado con combustible fósil.

2.4.3. Instalaciones o sistemas conectados a la red eléctrica

En este tipo de instalación, una fracción o la totalidad de la energía eléctrica producida se entregan a la red eléctrica. La diferencia entre la energía eléctrica entregada por la instalación fotovoltaica a la red eléctrica y la que consume la instalación fotovoltaica, es facturada a un precio reglamentariamente establecido por la administración- o bien pactado con la compañía- y supone un ingreso económico, mientras que la energía eléctrica consumida por el resto de las instalaciones debe comprarse a la compañía distribuidora a precio del mercado. En este tipo de instalaciones no es necesario, por tanto, vincular el dimensionado de la instalación fotovoltaica al consumo estimado de la instalación eléctrica que debe alimentarse, pues, esta última se alimenta directamente de la red eléctrica como una instalación eléctrica convencional. Actualmente, como el objeto de incentivar la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, las administraciones aplican una importante prima para el precio del kWh vertido a la red resulte lo suficiente elevado para que las inversiones realizadas se amorticen en un tiempo razonable.

Una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica tiene menos componentes que una instalación autónoma, debido, fundamentalmente, a que no se precisa de un sistema de almacenamiento de energía (baterías) ni, en consecuencia, de un regulador. En efecto, en estas instalaciones, la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos pasa directamente al inversor, que la transforma y entrega –tras pasar por

los elementos de medida y protección correspondientes- como corriente alterna, a la red.

Se distinguen dos tipos de aplicaciones principales:

- Centrales fotovoltaicas
- Sistemas integrados en edificios

2.5 Componentes de un sistema fotovoltaico.

Una instalación solar fotovoltaica consta, o puede constar de los siguientes componentes.

- Sistema de captación de energía
- Sistema de acumulación de energía eléctrica
- Sistema de regulación
- Sistema de adaptación del suministro eléctrico

Si bien los elementos mencionados están perfectamente delimitados, existen otros componentes que pueden afectar a varios sistemas o incluso a la instalación fotovoltaica en su conjunto. Entre eso cabe mencionar:

- Sistema de transporte de la energía
- Sistema de control, medida y protección

2.5.1. Sistema de captación de energía.

Está formado por un conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos, conectados convenientemente, que realizan la captación de la energía procedente del Sol y la transforman directamente, en energía eléctrica, en forma de tensión y corriente continua. Debe destacarse, sin embargo, que desde el punto de vista del diseño y dimensionado de la instalación fotovoltaica en su conjunto. Debe quedar perfectamente establecido el tipo de estructura que soporta a los módulos (si es fija o móvil, y, en este caso, si tiene varias posiciones regulables manualmente o, si por el contrario, la orientación de los paneles se realiza de forma continua automáticamente, en este último caso, -paneles con seguimiento solar-, debe establecerse si el seguimiento se realiza a un eje o bien a dos ejes). De hecho, la cantidad de energía eléctrica que se producirá durante un tiempo de referencia depende en gran medida, de tres factores: las características climatológicas reales durante el tiempo considerado, la eficiencia de los módulos fotovoltaicos utilizados, y, finalmente, la cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie de los módulos fotovoltaicos que depende de la orientación de los módulos respecto al Sol.

Cuando se planifica la distribución de los paneles fotovoltaicos que constituyen el sistema de generación debe prestarse especial atención a

reducir, en la medida de lo posible, el efecto de sombras de estructuras cercanas sobre los paneles, de lo contrario, puede verse sensiblemente reducida la producción de energía eléctrica generada en determinadas horas del día, toda vez que puede producirse un deterioro prematuro de los paneles ensombrecidos (Hoy en día, este último aspecto puede subsanarse mediante la introducción de diodos de paso (By-pass), que cortocircuitan los paneles sombreados, impidiendo que actúen como cargas y se sobrecalienten.). Debe diferenciarse a los diodos de bloqueo, cuyo cometido consiste en impedir que, durante la noche o demás periodos de baja insolación, circule corriente eléctrica desde las baterías hacia los módulos fotovoltaicos, con las indeseables consecuencias que ello conllevaría: la descarga de las primeras y el posible deterioro de los segundos. Determinados fabricantes pueden incluir alguno de estos diodos integrados en sus módulos fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos suelen disponer de otros elementos para facilitar la ejecución de las instalaciones, entre los que cabe mencionar: cables o conductores, fusibles, cajas de conexiones, pararrayos autovalvulas y bornes de puesta a tierra.

Los conductores empleados para interconectar los módulos entre sí y con el resto de la instalación, al estar instalados en el exterior, deben ser de doble aislamiento, debiendo ser este resistente a los rayos ultravioletas y a altas temperaturas que pueden producirse en periodos de alta insolación (puede llegar a ser 50° C superior a la temperatura ambiente, es decir, llegar a los 90° C, especialmente en el caso de los módulos integrados en edificios), y deberán tener la sección adecuada para soportar las intensidades de corriente en régimen de carga nominal y en caso de cortocircuito, a la vez que minimizar la caída de tensión.

La elección, tanto de los módulos como de las estructuras, puede obedecer a muy diversos criterios, aunque entre ellos, el sentido común suele incluir siempre el criterio de que exista una relación óptima entre el coste de adquisición e instalación y eficiencia de generación de energía eléctrica (ambos factores afectan tanto a los módulos como a las estructuras que lo soportan, según se han visto).

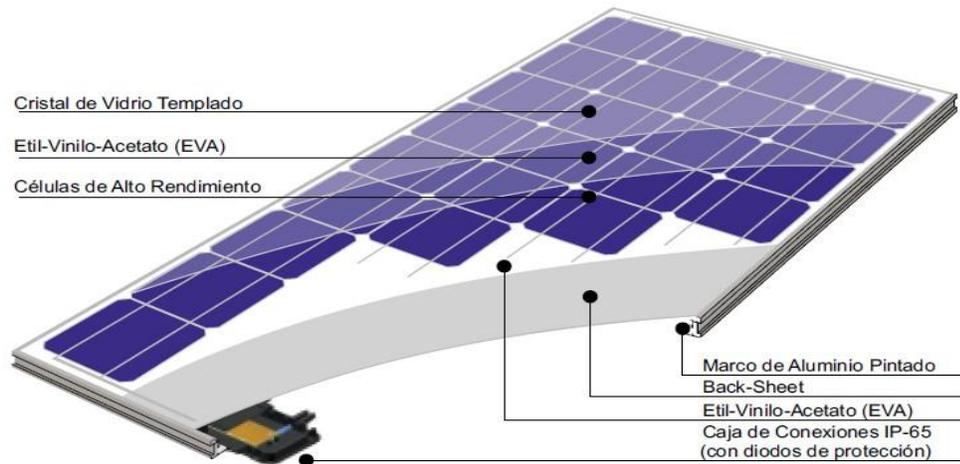


Figura 2.5.3. Estructura interna de un panel solar

2.5.2. Sistema de acumulación de energía eléctrica

Las instalaciones generadoras de energía basadas en fuentes de energía renovables, en especial las que no están conectadas a la red eléctrica, suelen necesitar un sistema de almacenamiento para hacer frente a las demandas energéticas en los periodos en los que no hay producción de energía (en ausencia de insolación, en el caso de instalaciones de energía solar). En el caso concreto de instalaciones fotovoltaicas, la forma más común de almacenar la energía eléctrica producida se basa en el empleo de acumuladores electroquímicos o baterías, pues es el procedimiento que permite una flexibilidad mayor, tanto desde el punto de vista del almacenamiento como desde el de la posterior utilización de la energía almacenada. La fiabilidad global de la instalación fotovoltaica depende en gran medida del buen funcionamiento del sistema de acumulación, por lo que debe prestársele una especial atención.

Una batería almacena electricidad para ser utilizada durante la noche o para satisfacer la demanda energética de las cargas cuando los módulos no están generando suficiente potencia para ello.

Un acumulador electroquímico es una pila que puede regenerarse mediante el paso de corriente eléctrica. De hecho, los acumuladores actúan como pilas durante la descarga y como células electrolíticas durante la carga, la fuerza electromotriz que producen es pequeña, por lo que, en general, se asocian varios acumuladores constituyendo una batería.

Las placas forman los electrodos positivos y negativos de la célula electroquímica y permiten la entrada y salida de la corriente eléctrica que circula por su interior por efecto de la carga o de la descarga. Las placas

están constituidas por la rejilla y la materia activa. La rejilla distribuye la corriente por toda la placa y actúa como soporte de la materia activa. La materia activa está formada por los contribuyentes de una célula que participan en la reacción electroquímica de carga y descarga. Los separadores están intercalados entre las placas positivas y negativas con el fin de prevenir el contacto eléctrico directo entre ellas. Suelen estar fabricadas de plástico micro poroso inalterable a la acción de ácidos. Su elevada porosidad permite la difusión fácil y rápida del electrolito. Finalmente, el electrolito es el medio en el cual ocurre el transporte de la carga eléctrica entre los electrodos positivo y negativo. Puede también participar directamente de las reacciones de carga y descarga (como sucede en los acumuladores de plomo-acido). La densidad del electrolito se elige de acuerdo con las especificaciones del fabricante, las cuales están definidas para las condiciones de especificaciones del fabricante, las cuales están definidas para las condiciones de diseño, fijadas en una función de los regímenes de trabajo a que serán sometidas.

Las características más importantes, desde el punto de vista de su empleo en instalaciones fotovoltaicas, de las baterías son las siguientes:

- *Capacidad:* Es la cantidad de carga eléctrica que pueden obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado, manteniéndose la tensión entre bornes próxima al valor nominal. La unidad de carga eléctrica en el S.I. es el Coulomb, C, cuya unidad es igual a 1 Amperio x 1 segundo. La capacidad de los acumuladores se mide en Amperios-hora, Ah ($1 \text{ Ah} = 3.600 \text{ As} = 3.600 \text{ C}$), para un determinado tiempo de descarga, que en el caso de los acumuladores fotovoltaicos suele ser de 100 horas. La capacidad de un acumulador varía con la rapidez de la descarga (régimen de carga/descarga), de modo que si el tiempo de descarga es muy corto, la capacidad de la batería disminuye, mientras que si el tiempo de la descarga aumenta, también hace la capacidad (así, C'_{20} , C'_{50} y C'_{100} representan a capacidad de una batería para distintos tiempos de descarga: 20, 50 y 100 horas, respectivamente). Una batería de 100 Ah de capacidad es capaz de suministrar, aproximadamente, 100 amperios durante una hora o 10 amperios durante 10 horas.
- *Capacidad energética:* Es el número total de Wh que pueden ser extraídos de un acumulador plenamente cargado, siendo igual al producto de su capacidad por su tensión.
- *Régimen de carga/descarga:* Es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible. Este régimen está generalmente normalizado para la capacidad de la batería. Por ejemplo, el régimen de descarga es de 100 horas de una batería $C'_{100} = 1.000 \text{ Ah}$ es igual a $1000/100 \text{ A}$.
- *Tensión o voltaje:* La tensión de las baterías es distinta en circuito abierto (en vacío) y en carga. Las baterías suelen tener un voltaje o tensión nominal típicos de 2, 6, 12, o 24 volts, pudiéndose conectar

distintas unidades en paralelo para ajustarse a la tensión requerida por la instalación fotovoltaica si esta es superior a los anteriores valores. Es, asimismo importante conocer la tensión de carga, a aplicar para vencer la resistencia que opone la batería a ser cargada.

- *Tensión de corte*: Valor de la tensión para la cual se finaliza la descarga del acumulador. Depende del régimen de descarga y del tipo y modelo de acumulador.

- *Profundidad máxima de descarga*: Es la cantidad de energía extraída de un acumulador totalmente cargado durante una descarga, expresada en tanto por ciento respecto a la carga máxima. Es el valor máximo admisible de la profundidad de descarga para un determinado tipo de acumulador, debiéndose diferenciar entre la profundidad máxima de descarga profunda u ocasional, $P_{D,max}$ (alcanzable unas pocas veces al año) y la profundidad máxima de descarga diaria o superficial, $P_{D,diaria}$ (la máxima que puede admitir descargas diarias superficiales o poco profundas ($P_{D,diaria}$ entre 20 y el 30 %) y descargas estacionales o puntuales profundas ($P_{D,max}$ entre el 70 y el 80%), en el bien entendido de que cuanto menos frecuentes sean estas últimas y menor sea la profundidad de descarga, mayor será la vida útil de los acumuladores

Así pues, para suministrar electricidad durante periodos de tiempos largos, los sistemas fotovoltaicos requieren baterías de ciclo profundo. Estas baterías normalmente de plomo-acido, están diseñadas para realizar cientos de ciclos profundos de carga y descarga (descarga de aproximadamente, el 70-80% de su capacidad, quedando únicamente el 30-20% de carga y posteriormente recarga completa). Con todo, el valor real del nivel de descarga profunda depende del tipo de batería concreta que se utilice, siendo un dato esencial para el dimensionamiento del sistema de acumulación de energía. Las baterías empleadas en los vehículos son de ciclo poco profundo (superficial) y no deben instalarse en sistemas fotovoltaicos pues están diseñadas para descargarse, aproximadamente, tan solo un 20-30% de su capacidad, permaneciendo la batería cargada hasta el 80-70% de su capacidad. Si se somete a niveles de descarga muchas mayores varias docenas de veces, la batería se deteriora y pierde sus propiedades de almacenamiento de carga. Además, el acumulador para instalaciones fotovoltaicas se diferencia, de otros tipos de baterías por las bajas intensidades de descarga, esto es: suministra intensidades bajas o moderadas durante largos periodos de tiempo (hasta varios días). En este aspecto, vuelven a ser inadecuados los acumuladores para automoción, diseñados para proporcionar elevadas intensidades en poco tiempo y no para entregar pequeñas intensidades durante largos periodos de tiempo.

- *Estado de carga*: Es la capacidad disponible en una batería expresada en porcentaje respecto a la capacidad nominal.

- *Ciclos de vida*: Numero de ciclos que una batería puede soportar bajo determinadas condiciones, siendo un ciclo la secuencia de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga

determinados. El número de ciclos vida de una batería depende del espesor de las placas que constituyen los electrodos, de la concentración del electrolito, y principalmente, de la profundidad de las descargas a que se ve sometido, ya que cuanto más profundas sean estas el número de ciclos de vida disminuye y la batería llega antes a su fin.

- *Vida*: Periodo medio de tiempo durante el cual un acumulador es capaz de operar en unas determinadas condiciones, manteniendo la capacidad y el nivel de rendimiento.

Una característica adicional de los acumuladores es su característica de auto descarga, este es un fenómeno mediante el cual la carga de un acumulador, sin receptores conectados va disminuyendo a medida que pasa el tiempo. La instalación de un regulador permite la recarga automática de los acumuladores, compensando la auto descarga e impidiendo, por tanto, que en nivel de carga descienda hasta niveles profundos que pueden comprometer la fiabilidad y duración de las baterías.

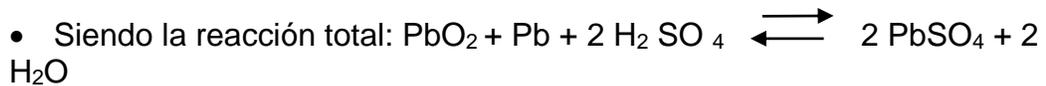
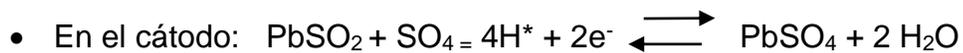
- *Rendimiento energético o eficiencia de carga*: Es la relación entre la energía extraída (Wh) del acumulador durante la descarga y la energía que debe serle suministrada (Wh) para restablecer el estado inicial de carga. La eficiencia de la carga de las baterías indica que fracción de la energía suministrada a a batería queda realmente almacenada, por lo que es de suma importancia escoger baterías de alta eficiencia para optimizar el tamaño del campo fotovoltaico, o lo que es lo mismo, para sacar el máximo provecho de la energía generada, hoy por hoy, a alto precio, por los paneles solares. El rendimiento energético de los acumuladores suele estar comprendido entre el 55 y el 80%.

- *Densidad de energía*: cociente entre la potencia nominal disponible de un acumulador y su peso total o su volumen.

Las baterías ideales para aplicaciones fotovoltaicas, diseñadas para poder ser descargadas lentamente y volver a recargarse cuando existan disponibilidades energéticas, sin las denominadas baterías estacionarias, pues no pueden estar sometidas a movimiento, las cuales pueden ser de recipiente abierto o bien presentarse de forma estanca (estas últimas, están libres de mantenimiento pero tienen menor duración y mayor coste que las abiertas y su capacidad suele ser menor). Los acumuladores estacionarios están construidos en vasos independientes con placas tubulares y rejillas con bajo contenido de antimonio.

Los acumuladores más utilizados, con diferencia, son acumuladores de Plomo-acido, ideados por Plante en 1859. El acumulador de plomo-acido está formado por una serie de láminas de dióxido de plomo, PbO_2 , que constituyen el polo positivo y otra serie de láminas de plomo metálico, que son el polo negativo; el electrolito está constituido por una disolución acuosa de ácido sulfúrico. Las reacciones químicas que tienen lugar son:

- En el ánodo: $Pb + SO_4 \rightleftharpoons PbSO_4 + 2e$



Cada célula o acumulador de Plomo-acido genera una f.e.m. ligeramente superior a 2 V.

De acuerdo con las anteriores reacciones, en el proceso de descarga tiene lugar un aumento de PbSO_4 a costa de la disminución de los elementos integrantes de las láminas (ánodo y cátodo) y de la concentración de ácido sulfúrico del electrolito. En el proceso de carga, en cambio, se invierte el proceso hasta restablecerse las proporciones iniciales de cada elemento, momento en que el acumulador vuelve a estar completamente cargado.

La concentración del electrolito de las baterías es, de hecho, el indicador más fiable para conocer su estado de carga, y por tanto, la cantidad de energía que tiene almacenada. Para medir la densidad del electrolito se utiliza, un densímetro sencillo que es un aparato que tras succionar una muestra de electrolito, indica su densidad a partir de la posición de un flotador en una escala calibrada.

Los densímetros están calibrados para temperaturas a medida de 25° C; si la medición se realiza a temperatura distinta, puede corregirse el valor de la medida mediante la siguiente expresión:

$$P_{25^\circ\text{C}} = \rho + 0,0007 (T-25) \quad (1)$$

Siendo $P_{25^\circ\text{C}}$ la densidad de 25° C y, ρ la densidad medida a la temperatura T (° C). La cantidad de plomo con el que están constituidas las placas determina tanto la capacidad de la batería como la profundidad máxima de descarga a la que puede ser sometida, de modo que un acumulador de Pb-acido llega a su fin cuando no hay suficiente cantidad de plomo en los electrodos para poder reaccionar con el electrolito o bien, cuando no hay suficiente cantidad de este último para reaccionar con el plomo.

En la fase final del proceso de carga de este tipo de acumuladores se desprende O_2 y H_2 con la consiguiente disminución de la cantidad de agua que forma parte del electrolito, debiéndose reponer periódicamente. Puede evitarse, parcialmente, la pérdida de agua haciendo pasar los mencionados gases a través de tapones catalizadores, que consiguen la

reconversión en agua de buena parte de los gases emitidos, lográndose dilatar en el tiempo las operaciones de mantenimiento.

Dentro de las baterías de plomo ácido se encuentran las de Plomo-calcio (Pb-Ca), que se caracterizan por tener una menor auto descarga y mantenimiento, y las de plomo-antimonio (Pb-Sb), de tipo abierto y tubulares, que se deterioran menos con la sucesión de ciclos, tienen mejores prestaciones para bajos niveles de carga, soportando grandes descargas, y una vida media entre diez y quince años, siempre respetan las condiciones de uso.

Otro acumulador de interés, disponible a escala comercial, es el de Níquel-Cadmio (Ni-Cd), modificación del acumulador alcalino de níquel-hierro o acumulador de Edison, ideado por este en 1904, en cuyo ánodo hay hierro finamente dividido y cadmio y en cuyo cátodo hay Ni_2O_3 hidratado. La fuerza electromotriz es de 1,22 a 1,3 V. Frente a los acumuladores de Plomo-ácido, los acumuladores de Ni-Cd presentan, como ventajas, la posibilidad de ser empleados sin elemento regular, el poder permanecer largo tiempo con bajo estado de carga, la estabilidad en la tensión suministrada y un mantenimiento temporalmente más espaciado. A pesar de ello, su uso está desaconsejado en la mayoría de sistemas fotovoltaicos debido a su alto coste y su baja capacidad para regímenes de descarga lentos.

También es de destacar la influencia que la temperatura tiene sobre las prestaciones de las baterías, como sucede con los módulos fotovoltaicos. En lo que respecta a la capacidad del acumulador, esta se incrementa al aumentar la temperatura y disminuye a bajas temperaturas.

Así mismo, el voltaje de carga necesario aumenta al disminuir la temperatura y disminuye a medida que esta aumenta, hecho que debería tener en cuenta el regulador.

Cuando un acumulador está parcialmente descargado, disminuye la densidad y puede llegarse al punto de congelación en caso de muy bajas temperaturas. Por todo ello, una batería que pueda estar sometida durante largos periodos de tiempo a temperaturas inferiores a 0°C deberá tener sobredimensionada su capacidad, para disminuir la profundidad de descarga y mantener la densidad del electrolito lo más elevada posible y evitar su congelación. Esta capacidad extra sirve, para compensar la pérdida de capacidad por efecto de la temperatura.

Entre las operaciones de mantenimiento del sistema de acumulación cabe destacar la comprobación periódica del nivel del electrolito y su densidad, así como la tensión entre los bornes. Deben revisarse los bornes y las conexiones de las baterías, eliminando los restos de óxido y sal y protegerlos con vaselina neutra.

La mayoría de baterías contienen materiales tóxicos que pueden afectar seriamente a la seguridad y salud. Una manera de reducirlos, que no excluye otras medidas que deban ser adoptadas, consiste en ubicar el sistema de acumulación en un lugar bien ventilado y aislado de otros componentes eléctricos del sistema y de espacios habitados. Debe tenerse en cuenta que durante el proceso de recarga de las baterías de plomo-acido se desprende hidrogeno, gas inflamable que, mezclado con el aire, puede dar lugar a explosiones. Resulta, de vital importancia realizar el mantenimiento de las baterías de acuerdo con las instrucciones del fabricante y reciclarlas convenientemente cuando deban ser sustituidas.

2.5.3. Sistema de regulación

Este componente regula el flujo de electricidad desde los módulos fotovoltaicos hasta las baterías (suministrándoles la tensión e intensidad adecuadas al estado de carga en que estas se encuentran) y desde las baterías a los receptores (ya sean receptores de corriente continua o receptores de corriente alterna, a través del correspondiente inversor). Además, el regulador tiene la misión de mantener la batería plenamente cargada sin que sufra sobrecargas que puedan deteriorarla. Cuando los receptores demandan energía, el regulador permite el flujo de carga (intensidad eléctrica) desde los módulos hacia las baterías, hacia los receptores o hacia ambos. Cuando el regulador detecta que la batería está cargada al 100%, conviene que el sistema electrónico de regulación lo mantenga un tiempo en sobrecarga con producción de O_2 y H_2 , ya que la producción y circulación de estos gases remueve la disolución de electrolito y homogeneiza la densidad en todo el vaso, evitando la estratificación. Transcurrido un cierto tiempo, el regulador debe interrumpir el flujo de carga procedente de los módulos y realizar pequeñas recargas en cortos periodos de tiempo a fin de compensar la auto descarga de los acumuladores (a esta función del regulador se la denomina mantenimiento en flotación), lo cual alarga la vida de los acumuladores. Muchos reguladores detectan, también si los receptores están absorbiendo un exceso de electricidad de las baterías, en cuyo caso detienen el flujo de carga (es decir, interrumpen la corriente eléctrica) hasta que las baterías se recarguen a un nivel adecuado. Esta forma de proceder permite proteger y alargar grandemente la vida de las baterías.

Asimismo, un buen regulador debe ajustar la tensión a la que debe finalizar la carga de las baterías en función de los valores de la temperatura ambiente y de la intensidad suministrada por los módulos fotovoltaicos, así como impedir descargas excesivas.

Los reguladores más modernos permiten regular la tensión e intensidad suministradas por el campo fotovoltaico a fin que estén próximas al punto de máxima potencia de los módulos (seguidores del punto de máxima potencia), además incluye numerosas funciones, tales como la monitorización de los principales parámetros del sistema, funciones de interrupción del suministro, en caso necesario, y posteriormente automático, etc.

Para conseguir tensiones de varios centenares de voltios, necesarios en grandes sistemas fotovoltaicos, deben conectarse en serie un elevado número de baterías (de 2, 4,6 o 12 V cada una). Este montaje parte de la hipótesis de que todas las células o baterías conectadas tienen idénticas propiedades y, en especial, que su estado de carga es siempre el mismo. Cuando lo anterior se cumple, el conjunto de las baterías puede ser tratado como un todo, como una caja negra, y su carga y descarga puede entonces controlarse mediante un único regulador de carga, que obtiene la información únicamente de los dos terminales de banco de baterías.

En la práctica, sin embargo, cada celda o batería tiene una capacidad, una característica de auto descarga y efectos de la temperatura específica y diferenciada de las restantes. Estas inevitables diferencias tienen su origen en diversos factores, tales como variaciones durante su construcción, tipo de instalación, mantenimiento y envejecimiento. El comportamiento no ideal de las celdas individuales con menor capacidad, durante la descarga. Por otro lado, durante el proceso de carga, algunas células alcanzan el límite de carga prematuramente y sin sometidas a sobrecargas. Se ha demostrado que ligeras desviaciones del estado de carga de las células individuales son amplificadas durante la operación cíclica constituyendo un proceso divergente, es decir, las desviaciones del SOC son cada vez mayores. La destrucción de una célula puede iniciar una reacción en cadena que conduzca a la destrucción de toda la batería.

Por otro lado, resulta evidente que la célula con la menor capacidad determina la capacidad útil de toda la batería: el proceso de descarga debe finalizar tan pronto como el elemento más débil de la cadena haya alcanzado el límite de descarga máximo.

Se ha desarrollado un tipo de reguladores que provienen de los anteriores problemas, fundamentalmente mediante la igualación del estado de carga, SOC, individual de todas las células o baterías de una bancada. La idea básica de estos reguladores igualadores de carga (CHange EQualizers, CHEQ) es la igualación de los voltajes de las células o baterías individuales que forman parte de un banco de acumuladores, en cualquier instante de tiempo, tanto durante los procesos de carga como en los de descarga. Si bien es cierto que el nivel de tensión de una célula no constituye una indicación precisa de su SOC, resulta seguro que

durante la descarga, una célula débil experimentara una caída importante de su tensión entre bornes antes que las otras. Lo anterior puede evitarse mediante una transferencia de energía desde las otras células del conjunto hacia la célula debilitada. Del mismo modo, puede protegerse a las células o baterías frente a sobrecargas mediante la transferencia de energía desde estas al resto de células.

Los reguladores con la función CHEQ tratan a las baterías conectadas en serie e manera individualizada, entendiendo que se comportan individualmente de forma diferente, pudiendo utilizarse, en bancadas de baterías conectadas en paralelo, aunque estas tengan capacidades o características de auto descargas distintas.

Algunos reguladores incorporan sistemas que sustituyen a los diodos de bloqueo, impidiendo el flujo de energía eléctrica desde las baterías hacia los módulos fotovoltaicas en ausencia de la insolación.

El dimensionado del sistema de regulación conduce al establecimiento de sus características nominales, que son la tensión nominal de funcionamiento coherente con la tensión del sistema de generación y el sistema de acumulación y la intensidad eléctrica máxima que puede controlar.

Finalmente, existen los módulos fotovoltaicos autorregulados, diseñados para trabajar en conexión directa con los acumuladores, adaptando de manera automática, la energía que generan al nivel de las baterías. Pueden resultar adecuados en determinadas instalaciones fotovoltaicas de pequeña potencia y difícil mantenimiento.

2.5.4. Sistema de adaptación del suministro eléctrico

La misión del sistema de adaptación consiste en hacer compatibles entre sí las características eléctricas (tensión, intensidad, frecuencia...) de los diferentes sistemas que componen la instalación fotovoltaica, incluidos los receptores. Dos son las principales adaptaciones que pueden ser necesarias: la adaptación de los niveles de tensión continua entre sistemas, llevada a cabo mediante los convertidores de tensión continua entre sistemas, y la transformación a corriente alterna de la energía eléctrica suministrada por las baterías y/o los módulos fotovoltaicos, así como la modificación del valor de la tensión (generalmente es necesario elevar la tensión) llevada a cabo por los inversores u onduladores.

Los convertidores de tensión CC (que realizan la misma función que un transformador de tensión alterna, es decir, modifican el valor de la tensión continua hasta el nivel deseado) son adecuados en aquellas aplicaciones

de tensión continua en las que los niveles de tensión de las baterías no han podido hacerse coincidir con la tensión de trabajo de los receptores.

Debido a su mayor incidencia e importancia, se dedica un apartado específico a los inversores.

2.5.5. Inversores

Los inversores son dispositivos que transforman la corriente continua (CC) suministrada por los sistemas fotovoltaicos y demás fuentes de energías renovables o sus componentes de almacenamiento, en corriente alterna (CA), necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos e industriales.

La mayoría de los inversores aceptan tensiones continuas de entrada de 12, 24, 32, o 48 V y suministran en la salida tensión alterna 230 V y 50 Hz. Las potencias nominales abarcan desde 50 W hasta los 5 kW, aunque existen disponibles en el mercado inversores de potencias. Los inversores de menor potencia suelen suministrar tensión alterna monofásica, mientras que los de mayor potencia ser también monofásicos o bien suministrar directamente tensión trifásica. De todos modos, puede realizarse un suministro trifásico a partir de tres inversores monofásicos conectados y sincronizados convenientemente. Los inversores de pequeña potencia pueden suministrar electricidad directamente a pequeños receptores mientras que los de mayor tamaño son adecuados, por ejemplo, para proveer de energía toda una vivienda.

Las características de la tensión alterna generada por un inversor es uno de sus parámetros de calidad más importantes, pudiendo determinar el tipo de receptores a los que puede alimentar.

Forma de onda. La forma de onda es una representación gráfica de la tensión suministrada por el inversor en función del tiempo, de la que pueden extraerse los valores de la amplitud y la frecuencia de la tensión alterna generada. Los inversores pueden producir tres tipos de forma de onda distintas: lo ideal es la generación de ondas senoidales puras, similares a las suministradas por las centrales eléctricas. Determinados inversores producen ondas «casi-senoidales» como aproximación a la onda ideal. El tercer tipo consiste en «ondas cuadradas», que difieren grandemente de las senoidales puras.

Los inversores de forma de onda cuadrada pueden alimentar receptores productores de calor (resistencias eléctricas, calentadores, secadores...), así como lámparas incandescentes, equipos musicales de calidad media, receptores de TV en blanco y negro y determinados receptores a motor,

tales como mezcladores, aspiradoras máquinas de coser (en general, aquellos receptores equipados con motores monofásicos universales).

Los inversores de forma de onda casi-senoidal pueden alimentar la gran mayoría de receptores excepto aquellos más sensibles a la presencia de armónicos, como ordenadores e impresoras láser.

Los inversores de forma de onda senoidal genera una tensión idéntica a la que producen las centrales eléctricas de las compañías suministradoras de energía eléctrica y son aptos para alimentar cualquier tipo de receptor de corriente alterna, incluidos los más sensibles a la presencia de componentes armónicas.

Potencia nominal: los inversores se caracterizan por dos potencias características; la potencia en servicio continuo y la potencia pico o en servicio intermitente. La primera es la cantidad de potencia disponible de manera continua e indefinidamente, y sirve para determinar el tamaño (potencia) del receptor (o conjunto de receptores) que puede alimentar. Sin embargo, cierto tipo de receptores, generalmente motores eléctricos, requiere un pico o impulso inicial de energía eléctrica, que suele durar unos pocos segundos. Este pico puede suponer entre el 500 y 800% (típicamente) de la potencia transitoria, pues de lo contrario, el receptor correspondiente no podrá ponerse en funcionamiento y el propio inversor puede dejar de funcionar. El fabricante del inversor debe informar de la potencia máxima de un motor que es capaz de arrancar. Asimismo, debe comprobarse que el inversor es adecuado para alimentar todos los tipos de receptores que se van a conectar, pues algunos inversores pueden dañar ciertos dispositivos para los que no son adecuados (debe tenerse especial cuidado, por ejemplo, con receptores capacitivos, como cargadores de baterías, que pueden sobrecalentarse y producir los daños en los propios cargadores y en las baterías).

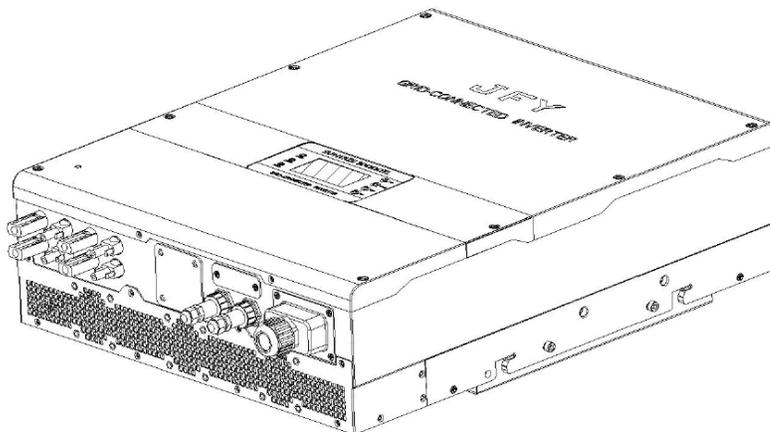


Figura 2.5.5.1 Inversor Solar JFY

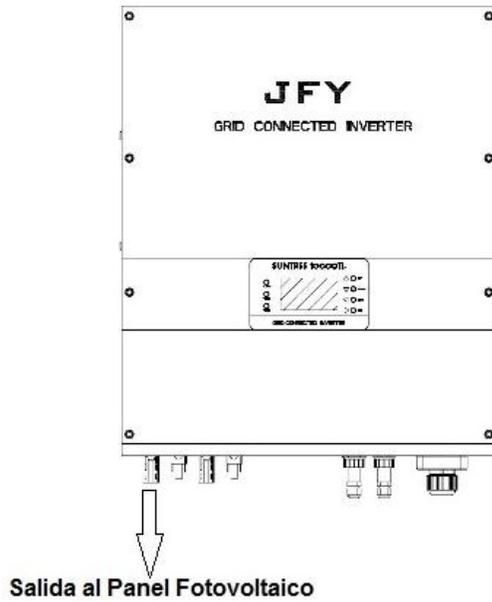


Figura 2.5.5.2 Salida al Panel Fotovoltaico

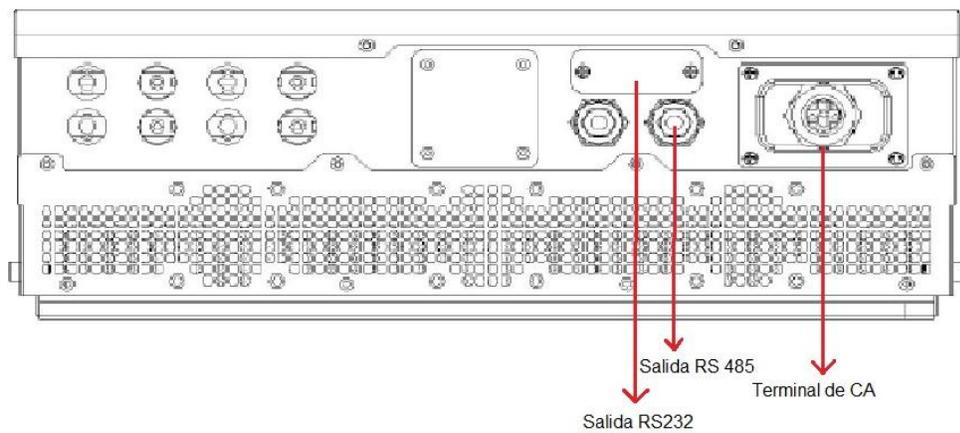


Figura 2.5.5.3. Perfil inferior del inversor

2.5.6. Tipos de inversores

Según el procedimiento para convertir CC en CA y las aplicaciones en las que se emplean, los inversores se clasifican en:

- *Inversores rotativos*: En éstos, la tensión continua alimenta un motor de cc que su vez, mueve a un generador de tensión alterna. Este tipo de inversores es muy fiable, produciendo, además, una tensión senoidal pura, adaptándose automáticamente la demanda: se ponen en funcionamiento cuando se activa una carga y se desconectan en ausencia de receptores. Como desventajas están la ausencia de control de la frecuencia suministrada, poca disponibilidad de potencia pico (tan sólo 50/7- por encima de la potencia nominal), poca eficiencia (entre el 50 y- el 80 %) y posible presencia de ruido y vibraciones. Por todo ello, los inversores rotativos no son tan utilizados como los inversores electrónicos (estáticos).
- En los *Inversores electrónicos*, la transformación de CC a CA se realizan mediante componentes de estado sólido, alcanzándose rendimientos entre el 64 y el 90%, o, incluso, superiores. Existen dos tipos de inversores electrónicos. diferenciándose por el método empleado para generar CA.

El primer tipo se basa en la utilización de grandes transformadores para manipular las elevadas intensidades de entrada procedentes de las baterías, pues estos son capaces de transformar CA de baja tensión y elevada intensidad en CA de tensión más elevada y menor intensidad. En este tipo de inversores, el uso de transformadores da lugar a máquinas pesadas y voluminosas dado que se emplean varios transformadores, de tamaño creciente, a medida que se van añadiendo etapas de potencia hasta el valor nominal. Antes de entrar en el transformador, la electricidad suministrada por las baterías pasa a través de un circuito de troceado que convierte la CC en CA de muy baja tensión (aproximadamente la misma que suministran las baterías) a 50 Hz.

A continuación se pasa a través de los transformadores para elevar la tensión hasta el valor requerido (230 V en líneas monofásicas).

El segundo tipo de inversores electrónicos utiliza un único transformador de tamaño y potencia reducidos, resultando sistemas mucho más livianos que los del primer tipo. La electricidad proveniente de las baterías pasa, en este tipo de inversores, por dos circuitos troceadores (en vez de uno). El primero de estos circuitos transforma la elevada corriente continua de entrada de muy baja tensión, en corriente alterna igualmente de muy baja, tensión de alta frecuencia (alrededor de 25 kHz). La conmutación a alta frecuencia permite el uso de un transformador pequeño. El transformador eleva el nivel de tensión de la CA saliente del primer circuito, dejando inalterada la alta frecuencia. Seguidamente, la CA de tensión elevada y alta frecuencia es rectificadas, pasando a ser corriente continua a tensión

elevada. Finalmente, esta CC para al segundo circuito troceador que la convierte en CA a 230 V y 50 Hz.

2.5.7. Los inversores con relación a la red eléctrica

Atendiendo a su relación con la red eléctrica, los inversores se clasifican en:

- *Inversores autónomos*: También denominados inversores estáticos, están diseñados para funcionar en sistemas sin conexión con la red pública de distribución, obteniendo la energía de un sistema de acumuladores. El nivel de prestaciones y requisitos de estos inversores es muy inferior al segundo tipo de inversores.
- *Inversores conectados a la red*: También denominados inversores síncronos, se utilizan en instalaciones conectadas a la red de distribución de una compañía eléctrica. Los inversores síncronos deben producir CS sincronizada con la CA de la red a la que esta interconectada, esto es, ambas deben tener idénticas secuencias de fases, tensión y frecuencia que la red eléctrica, además, las formas de onda deben estar en fase. Además, la calidad de la forma de onda del inversor debe ser aceptable, de acuerdo con unos estándares determinados. En principio, estos sistemas no necesitan un sistema de almacenamiento (pues toda la energía generada se entrega a la red de distribución), a menos que se requiera una alimentación de emergencia. En este último caso, el sistema puede disponer de un inversor autónomo adicional o bien el propio inversor síncrono permitir un funcionamiento dual: como inversor síncrono y como inversor autónomo.

Existen muchos diseños y configuraciones posibles en la manera de funcionar de los inversores autónomos. Así, hay inversores diseñados para entregar toda la energía a la red de distribución, pasando previamente por un contador de la energía neta (después de restar la energía consumida por la propia instalación fotovoltaica) entregada a la red, para poder ser, facturada a la compañía eléctrica. En esta situación, la energía eléctrica consumida por la instalación eléctrica anexa a la instalación fotovoltaica se toma directamente de la red eléctrica y es facturada aparte, a precio de mercado.

Otros inversores y sistemas conectados a la red funcionan, sin embargo de distinta manera. Así, hay inversores que, cuando la instalación fotovoltaica está suministrando energía, la suministran a los receptores que haya conectados. Si la energía generada excede a la energía demandada por los receptores, el inversor vierte la energía excedentaria a la red eléctrica. Además, si la energía generada no puede satisfacer a

la demanda de los receptores, entonces la diferencia de energía se obtiene de la red.

La mayoría de los inversores síncronos se desconectan de la red cuando el sistema fotovoltaico apenas genera energía eléctrica.

Igualmente, un gran número de inversores síncronos incorpora funciones adicionales necesarias para hacer más seguro y fiable el funcionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red. Así, muchos inversores síncronos están diseñados para desconectarse de la red cuando esta se queda sin tensión, a fin de que los operarios de la compañía puedan realizar operaciones de reparación y/o mantenimiento de la línea de forma segura. Existen modelos de inversores que realizan, las funciones de un regulador, permitiendo realizar la recarga de las baterías a partir de energía procedente de la red eléctrica.

Los inversores pueden incorporar funciones de protección contra sobre intensidades y relés de desconexión en caso de diferencias de frecuencia o tensión con la red eléctrica. La mayoría de estas funciones son obligatorias en las reglamentaciones de interconexión, pudiendo ser realizadas mediante dispositivos externos al inversor o por el propio inversor.

La instalación y funcionamiento de inversores síncronos deben cumplir con los requerimientos y reglamentos generales y específicos que les son aplicables.

2.5.8. Rendimiento de los inversores

Al igual que sucede con la mayoría de máquinas eléctricas, la eficiencia de los inversores varía en función de la potencia que suministra, de modo que la eficiencia nominal suministrada por el fabricante suele corresponder a la eficiencia máxima, correspondiente a un determinado nivel de carga. Algunos inversores operan con la eficiencia máxima cuando trabajan entre el 50% y el 70% de la potencia nominal, descendiendo la eficacia a ambos extremos de la demanda de potencia. Resulta, de gran interés conocer la curva de eficiencia del inversor en función de la potencia entregada y, consiguientemente, ajustar al máximo la potencia del receptor de la potencia de máximo rendimiento del inversor. Los inversores de forma de onda casi-senoidal o senoidal modificada suele tener más rendimiento que los de onda senoidal pura. De todas formas, no debe entenderse como un principio inamovible, pues los fabricantes están mejorando continuamente los diseños de los inversores.

Debido a que, cuando suministran muy poca potencia, los inversores tienen rendimientos muy bajos, consumen una energía considerable, y descarguen parte de la energía almacenada en las baterías. Por ello, es conveniente disponer de un sistema de control que desconecte los inversores cuando la energía requerida por los receptores sea muy pequeña y, desconecte o deje sin utilizar receptores sin estar en funcionamiento, consuman una pequeña potencia al estar en modo de espera.

2.5.9. Sistema de transporte de la energía eléctrica

El transporte de la energía eléctrica se realiza a través de los distintos sistemas de la instalación fotovoltaica mediante canalizaciones (líneas) eléctricas, generalmente cables realizados a partir de conductores de sección circular o agrupación de estos, constituyendo el sistema de transporte de la energía eléctrica. Los criterios a tener en cuenta a la hora de diseñar este sistema son, los mismos que en cualquier instalación eléctrica de baja tensión. Es decir, debe establecerse:

- El tipo de cable
- El modo de instalación del cable
- La sección de los conductores

En lo que se refiere al tipo de cable, debe especificarse de que material conductor está fabricado (cobre, aluminio...), el tipo de cubierta protectora, si es el caso, y cualquier otra característica destacable.

En la relación con el modo de instalación del cable, debe establecerse, si se trata de línea aérea, subterránea o interior, si el conductor discurrirá en el interior de canalizaciones entubadas, bajo tubos de protección, en el interior de huecos de las construcciones...

Finalmente, la sección de los conductores debe ser establecida mediante aplicación de los siguientes criterios (adaptándose a la mayor de las secciones obtenidas):

- i. Intensidad máxima admisible por los conductores en régimen permanente
- ii. Caída de tensión máxima admisible
- iii. Intensidad máxima admisible por los conductores en caso de cortocircuito
- iv. El primer criterio obedece al hecho de que, debido al efecto Joule, cuando circula una intensidad a través de un conductor, se pierde una potencia eléctrica que produce el incremento de la temperatura del conductor hasta un valor para el que la potencia eléctrica generada por el efecto Joule en el conductor iguala a la potencia calorífica transmitida al medio circundante. Cuando dicho equilibrio se establece, se alcanza la

temperatura del conductor en régimen permanente. Se estudia analíticamente el proceso descrito, se llega a la conclusión de que la temperatura de equilibrio del conductor es directamente proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica e inversamente proporcional a la sección del conductor. Cada material aislante soporta, de manera indefinida, una determinada temperatura máxima, que constituye, el límite de la temperatura que puede alcanzar el conductor para preservar la integridad del aislamiento. Debido a que las características de transferencia de calor desde el conductor hacia el medio que lo rodea dependen de muchos factores, los fabricantes de cables eléctricos, las normas y los propios reglamentos establecen unas tablas donde se indican las intensidades máximas admisibles por los conductores en función de las secciones normalizadas de los conductores y de diversos parámetros. Se establecen, unos factores de corrección en función del número de conductores o cables agrupados, de la temperatura ambiente, etc. Por todo ello, en todo lo concerniente a la realización de la instalación eléctrica convencional, se remite al lector al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RTB) y a las Normas aplicables.

2.6 Sistema de control, medida y protección

El funcionamiento de una instalación fotovoltaica de una manera fiable y segura precisa de dispositivos que realicen, al menos las siguientes funciones:

Control

Las funciones que deben realizar los dispositivos de control dependen de la complejidad y requerimientos de la instalación fotovoltaica, pudiendo estar, entre otras, las siguientes: seguimiento solar de los módulos fotovoltaicos, posición de seguridad de los módulos en caso de condiciones ambientales extremas, supervisión del nivel de carga de los acumuladores, supervisión de los parámetros característicos de la instalación, la supervisión y control de estas funciones se realiza mediante un sistema eléctrico e control, que puede ser un ordenador, un autómata programable o un controlador diseñado específicamente para tal fin. A estas funciones deben añadirse las funciones de supervisión y control realizadas por el regulador y el inversor en sus propios sistemas.

Medida

La medida de la energía eléctrica producida y consumida por el sistema fotovoltaico se hace imprescindible en el caso de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, y puede ser de interés, en el caso de instalaciones solares autónomas. Para ello, se utilizan contadores de energía eléctrica, bien sean del tipo tradicional, electromecánicos, o del tipo electrónico, generalmente superiores a nivel de prestaciones y de

capacidad de comunicarse de forma remota. Si el nivel de potencia de la instalación y la reglamentación aplicable así lo establece, puede ser necesario, además, instalar contadores de energía reactiva (realizan la lectura de los kVAr-h entregados o consumidos). Dependiendo del tipo de línea utilizada estos contadores deberán ser del tipo monofásico o trifásico.

Protección

Las instalaciones fotovoltaicas deben incorporar dispositivos y sistemas de protección para que su funcionamiento se realice con un alto nivel de seguridad, tanto para las personas como para los bienes. El número, características y prestaciones de los dispositivos de protección dependen de las características del sistema fotovoltaico y de las prescripciones reglamentarias que sean de aplicación, resultando, un equilibrio entre el grado de protección a conseguir el coste económico que supone. La mayoría de los sistemas de protección afectan a otros sistemas, por ejemplo, sistemas para disminuir el riesgo de explosión en el sistema de acumulación.

Entre las protecciones que afectan al sistema eléctrico cabe mencionar:

a) *Protección contra sobrecargas y cortocircuitos*, mediante interruptores automáticos y/o fusibles.

Los dispositivos de protección deben cumplir los siguientes criterios:
Protección contra sobrecargas:

$$\left. \begin{array}{l} I_B \leq I_N \leq I_Z \\ 1,45 I_Z \geq I_F \end{array} \right\} \quad (2)$$

Los interruptores automáticos cumplen siempre la segunda condición, la cual debe ser comparada en el caso de los fusibles.

Siendo:

I_N : La intensidad nominal o de régimen del dispositivo de protección

I_B : La intensidad de utilización del aparato o cable

I_Z : La intensidad máxima que puede soportar el aparato o cable, en una de las condiciones de instalación determinadas.

I_F : La intensidad convencional de funcionamiento o de fusión del dispositivo de protección (generalmente, sus valores oscilan de 1.25 a 1.45 I_N para interruptores automáticos y de 1,60 a 2,10 I_N para interruptores automáticos de 1,60 a 2,10 I_N en el caso de fusibles).

Protección contra cortocircuitos:

- i. El poder del corte, PdC, del dispositivo de protección debe ser superior a la máxima intensidad de cortocircuito prevista en el punto de instalación:

$$PdC_{\text{dispositivo de protección}} \geq I_{sc \text{ máx.}} \quad (3)$$

- ii. La energía específica pasante, $I^2 t$, del dispositivo de protección debe ser inferior a la $I^2 t$ soportada por el cable.

$$(I^2 t)_{\text{cable}} > (I^2 t)_{\text{dispositivo de protección}} \quad (4)$$

Dado que $(I^2 t)_{\text{cable}} = K^2_{SC} S^2$, la anterior condición, es equivalente a:

$$K^2_{SC} S^2 > (I^2 t)_{\text{dispositivo de protección}} \quad (5)$$

Esta condición es equivalente a exigir que la sección del conductor, S, cumpla que:

$$S \geq I_{SC \text{ MAX}} \sqrt{t} K_{SC} \quad (6)$$

Siendo, S, la sección del conductor, la intensidad; t, el tiempo de actuación del dispositivo de protección, y K_{SC} una constante característica del cable.

b) *Protección contra contactos directos e indirectos*, generalmente mediante instalaciones de puesta a Tierra de las masas (elementos conductores de la instalación que, en condiciones normales no están en tensión pero que, en caso de defecto, pueden estarlo) y la instalación de interruptores diferenciales.

c) *Protección contra sobre tensiones* que puedan presentarse, ya sean originadas en la propia instalación o transmitidas por la red eléctrica pública. La protección se realiza mediante la instalación de pararrayos o descargadores autovalvulas, que, al presentarse una sobre tensión, la derivan a tierra.

d) *Protecciones asociadas a la interconexión con la red eléctrica de distribución*. Este tipo de protecciones, que incluye la mayoría de las anteriores.

En algún sistema de instalación fotovoltaica, varias de estas protecciones pueden estar agrupadas e integradas en un único dispositivo que, pueden realizar otra función principal, como es el caso de algunos inversores. Debe asegurarse de que cada sistema de la instalación fotovoltaica quede adecuadamente protegido de acuerdo con los riesgos concretos que afectan.

3. Desarrollo

3.1 Características de la central fotovoltaica

La empresa ABIOSA se encuentra ubicada a 16o45´ de latitud Nte, 93o20´ Ote, elevación de 1042m respecto al nivel del mar, a unos 15 minutos hacia el poniente de Tuxtla Gutiérrez, ciudad cabecera del estado de Chiapas, México. Físicamente está en el borde superior de de un macizo montañoso obteniéndose una diferencia de altura de más de 200m con respecto a la ciudad de Ocozocoautla ubicada a unos 3 Km en línea recta, unido al alto nivel de vegetación nativa existente a los alrededores permite la existencia de alta densidad de neblina, disminuyendo así el porcentaje de radiación solar disponible para la región.

Las nuevas instalaciones conformadas básicamente por un edificio central con techo de láminas metálicas tienen el espacio y las condiciones necesarias para la implementación de la Central Fotovoltaica.

Las partes y componentes fundamentales de la central solar.

1. Paneles Solares
2. Cableado apropiado CD
- 3 Seccionado y protección CD
4. Inversor CD/CA
5. Medidor de Energía
6. Sistema de monitoreo local y remoto vía PC.

3.2 Determinación de la energía diaria solicitada

Tabla 3.2. Energía solicitada

Tipos de receptores	Potencia	Horas de función	Energía Potencia por Hora
Varios	30,000 W	3 h Aprox.	95 kW/h

3.3 Elección del tipo de panel fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico está compuesto por 120 módulos de 250W cada uno, distribuidos en tres ramas de 10 kW cada una. Los módulos solares fotovoltaicos a implementar se caracterizan por una alta eficiencia y desempeño bajo diversas condiciones de operación, tienen un recubrimiento antirreflejante y un alto coeficiente de transmisión lo que permite el incremento de la potencia de salida y de la resistencia mecánica, el marco de aluminio anodizado garantiza la resistencia a la

corrosión y torsión aspecto este muy importante para condiciones ambientales adversas.

Se muestran en la siguiente tabla las características técnicas de los paneles:

Tabla 3.3 Características físicas de los paneles fotovoltaicos.

Tipo de celda	Silicio Policristalino 156x156 mm
Arreglo y numero de celda	6x10 (60 piezas)
Dimensiones	1650x991x40 mm
Peso	20 Kg.
Cristal frontal	Vidrio templado de 4 mm
Marco	Aluminio anodizado
Encapsulado	Vidrio/EVA/Celdas/EVA/
Humedad relativa	0-100%
Resistencia al impacto	Bola de acero de 227 g. desde 1 m de altura y velocidades de viento de 60 m/s
Coefficientes de temperatura.	
Temperatura Nominal de la celda (NOCT)	50°
Coefficiente de temperatura de Pmax	(0.410±0.05)%/K
Coefficiente de temperatura de Voc	(0.320±0.01)%/K
Coefficiente de Temperatura de Lcs	(0.050±0.01)%/K
Corriente máxima	15 A
Características eléctricas	
Voltaje a circuito abierto Voc	36 V
Voltaje Optimo de operación Vmp	30 V
Corriente de cortocircuito Isc	9.33 A
Corriente optima de operación Imp	8.33 A
Potencia máxima Pmax	250 W
Eficiencia	15.3 %
Temperatura de operación	-40°C – 85°C
Máximo voltaje del sistema	100 V DC
Variación de la potencia máxima	0/±3 %

3.4 Inclinación y radiación de los paneles solares

Utilizando el programa **NASA Surface meteorology and Solar Energy** de la nasa se pueden obtener distintos parámetros los cuales son esenciales a la hora del diseño de una central solar. Se puede apreciar en la siguiente figura los índices de radiación en Tuxtla Gutiérrez, así como los distintos ángulos de inclinación posibles.

Como se puede ver en la figura el Angulo de inclinación más favorable es de 16° debido a que con esa inclinación el nivel de radiación que incidiría sobre el panel fotovoltaico sería de 5.32 kWh/m²/día que como se aprecia es el más alto nivel de radiación comparado con las demás inclinaciones. En el anexo 4 se muestra la tabla de parámetros.



Figura 3.4 Panel solar fotovoltaico

3.5 Cálculo del número de módulos o paneles fotovoltaicos necesarios

$$\text{Carga} \times 1.1 = 95,000 \text{ W} \times 1.1 = \mathbf{104.5 \text{ kW}} \quad (7)$$

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{\text{carga}}{p.m.*h \text{ de radiación}} \quad (8)$$

Donde:

Carga: La energía eléctrica total consumida.

P.M: Potencia Máxima de los módulos.

Horas de radiación: Cantidad expuestas de horas de los módulos fotovoltaicos.

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{104.5 \text{ kW}}{(0.250 \text{ kW})(3.5 \text{ h})} = 119.42 \quad (9)$$

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = 120 \text{ módulos.}$$

3.6 Cálculo del número de módulos conectados en serie y del número de paneles conectados en paralelo

Se calcula y se adapta la instalación con respecto a los inversores dados a que se trata de una instalación conectado a red.

$$V_{T\ INVER} = 450\ V$$

Con esto:

Números de módulos conectas en serie

$$N_{S\ MOD} = V_{T\ INVER} / V_{MOD} \approx \quad (10)$$

Donde:

V_{MOD} = Voltaje de los módulos

$V_{T\ INVER}$ = Voltaje total del inversor

$$N_{S\ MOD} = 450\ V / 30\ V$$

$$N_{S\ MOD} = 15\ \text{módulos}$$

Numero de módulos conectados en paralelo

$$N_{P\ MOD} = N_{MOD} / N_{S\ MOD} \quad (11)$$

Donde:

N_{MOD} = Número total de módulos

$N_{S\ MOD}$ = Numero de módulos conectados en serie

$$N_{P\ MOD} = 120 / 17$$

$$N_{P\ MOD} = 8\ \text{módulos}$$

Potencia pico total del subsistema de captación de energía. P_{GEN}

$$P_{GEN\ (Wp)} = N_{MOD} (\text{n}^\circ \text{ de paneles}) \times P_{MOD} (\text{Wp/modulo}) \quad (12)$$

Donde:

N_{MOD} = Numero de módulos

P_{MOD} = Potencia de los módulos

$$P_{GEN} = 120 \times 250\ W$$

$$P_{GEN} = 30,000\ Wp$$

Intensidad pico total de salida del subsistema de captación de energía.

$$I_{P\ GEN} (A) = I_{P\ MOD} \times N_{P\ MOD} \quad (13)$$

Donde:

$I_{P\ MOD}$ = Intensidad pico de los módulos

$N_{P\ MOD}$ = Numero de módulos conectados en paralelo

$$I_{P\ GEN} = 8.33\ A \times 7$$

$$I_{P\ GEN} = 66.64\ A$$

Intensidad total de cortocircuito de subsistemas de captación de energía

$$I_{SC.GEN} (A) = I_{SC\ MOD} \times N_{P\ MOD} \quad (14)$$

Donde:

I_{SC} = Intensidad de cortocircuito

$$I_{SC.GEN} = 9.33\ A \times 7$$

$$I_{SC.GEN} = 74.64\ A$$

Tensión nominal total de salida del subsistema de captación de energía

$$V_{GEN} (V) = V_{MOD} \times N_{S\ MOD} \quad (15)$$

Donde:

V_{MOD} = Voltaje de módulos

$N_{S\ MOD}$ = Numero de módulos en serie

$$V_{GEN} = 30\ V \times 15$$

$$V_{GEN} = 450\ V$$

Tensión total en circuito abierto del subsistema de captación de energía

$$V_{OC\ GEN} (V) = V_{OC\ MOD} \times N_{S\ MOD} \quad (16)$$

Donde:

$V_{OC\ MOD}$ = Voltaje en circuito abierto del modulo

$$V_{OC\ GEN} = 36\ V \times 15$$

$$V_{OC\ GEN} = 540\ V$$

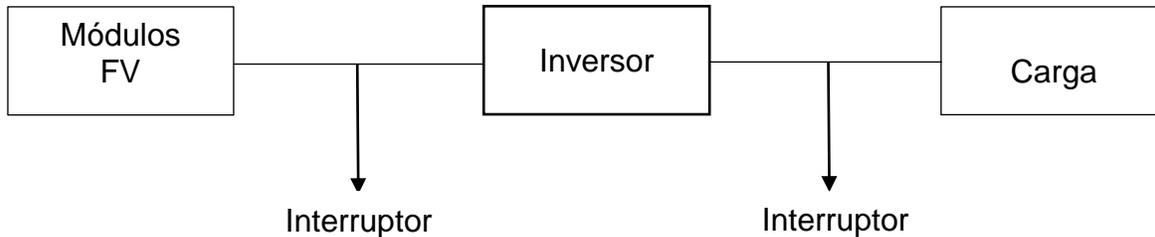


Figura 3.6 Sistemas de cableado y protecciones.
Intensidad nominal de los interruptores de conexión y desconexión de la corriente eléctrica desde el generador fotovoltaico hasta los inversores

$$I_{REG.GEN-INV} = 1.25 \times I_{SC GEN} \quad (17)$$

INVERSOR 1

$$I_{REG.GEN-INV} = 1.25 \times 18.66 A$$

$$I_{REG.GEN-INV} = 23.32 A$$

INVERSOR 2

$$I_{REG.GEN-INV} = 1.25 \times 28 A$$

$$I_{REG.GEN-INV} = 35 A$$

INVERSOR 3

$$I_{REG.GEN-INV} = 1.25 \times 28 A$$

$$I_{REG.GEN-INV} = 35 A$$

3.7 Elección de los inversores y cálculo de conexión de paneles a cada una de ellos.

Inversor fotovoltaico

La central fotovoltaica tendrá tres inversores (uno para cada rama del panel fotovoltaico) los cuales permitirán convertir la corriente directa obtenida de los paneles a corriente alterna, de forma tal que hace compatible la energía suministrada por la central solar con la red eléctrica. De igual forma este dispositivo tiene implícito las protecciones al usuario y a la red, así como un sistema de monitoreo interno que le permite al usuario conocer en cualquier instante el desempeño energético de la instalación. El inversor SUNTREE se caracteriza además por ser compacto y tener una alta densidad de potencia, alta respuesta a las variaciones de las características eléctricas del arreglo fotovoltaico y de la red, su eficiencia de transformación es del 98.2%, amplia capacidad de sobre carga y operación bajo diversas condiciones, señal de salida trifásica, comunicación por puerto serie RS485/RS232, así como bajo mantenimiento y LCD display multi-idioma.

En el anexo 1 se muestra la tabla de características del inversor SUNTREE.



Figura 3.7 Inversor Fotovoltaico SUNTREE

INVERSOR 1

2 Subcampos de 15 módulos

$$I_{NV1} = 15 \times 36 \text{ V} = 540 \text{ V}$$
$$I_{NV1} = 2 \times 9.33 \text{ A} = 18.66 \text{ A}$$

INVERSOR 2

3 Subcampos de 15 módulos

$$I_{NV2} = 15 \times 36 \text{ V} = 540 \text{ V}$$
$$I_{NV1} = 3 \times 9.33 \text{ A} = 28 \text{ A}$$

INVERSOR 3

3 Subcampos de 15 módulos

$$I_{NV3} = 15 \times 36 \text{ V} = 540 \text{ V}$$
$$I_{NV3} = 3 \times 9.33 \text{ A} = 28 \text{ A}$$

Para el conexionado de los inversores se utiliza cable XLPE debido a sus propiedades.

Las características se muestran en el anexo 3.

4. Resultados y Conclusiones

4.1 Resultados

En la figura 4.1 se muestra el voltaje y el correcto funcionamiento de cada panel para su montaje y posterior puesta en funcionamiento. Dando 32 V de 30 V nominales por lo que excede un poco su consumo, teniendo en consideración que las pruebas fueron realizadas en el CIDTER donde la radiación del lugar es mayor a la que se obtendrá en el lugar de su implantación.



Figura 4.1 Voltaje de un módulo

En la figura 4.2 se aprecia las pruebas del voltaje de 11 paneles conectados en serie en las instalaciones del CIDTER, para verificar el funcionamiento de cada módulo fotovoltaico.



Figura 4.2 Voltaje de once módulos conectados en serie

En las siguientes figuras 4.3 y 4.4 se observa la instalación de prueba de los módulos de la central con una capacidad máxima de prueba de 5.5 kW con la que se corroboraron el correcto funcionamiento de los paneles así como las interconexiones de los módulos, las pruebas fueron realizadas en el CIDTER.



Figura 4.3. Central Fotovoltaico de 5.5 kW

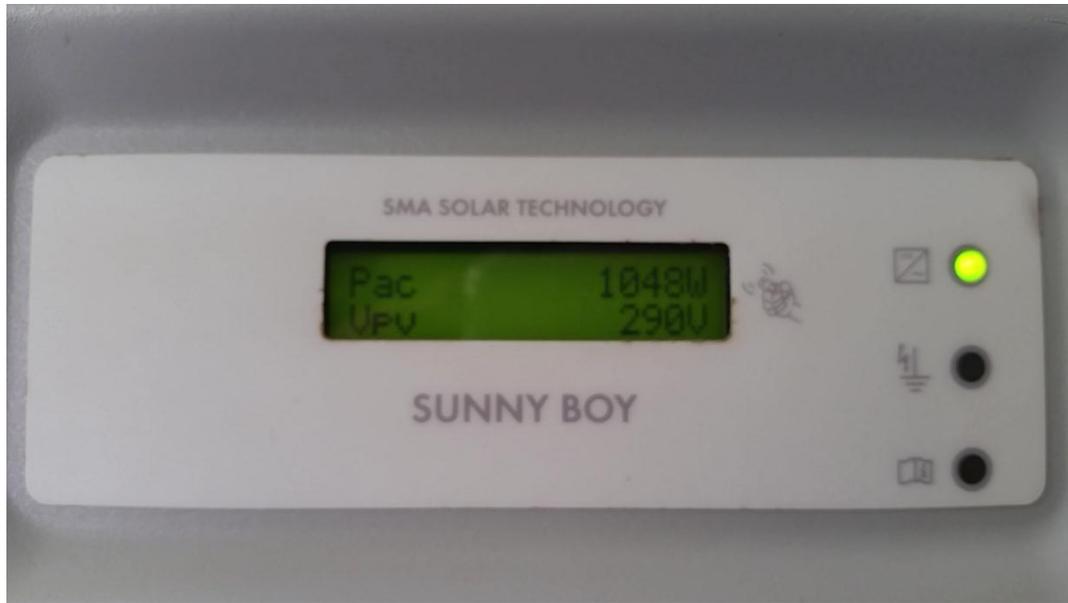


Figura 4.4 Datos obtenidos del inversor conectado en la central de 5.5 kW.

En la figura 4.5 se muestra la interconexión en serie y paralelo respectivamente de los paneles, quedando 8 subcampos en paralelo, de 15 paneles en serie cada uno sumándolos 120 paneles conectados.

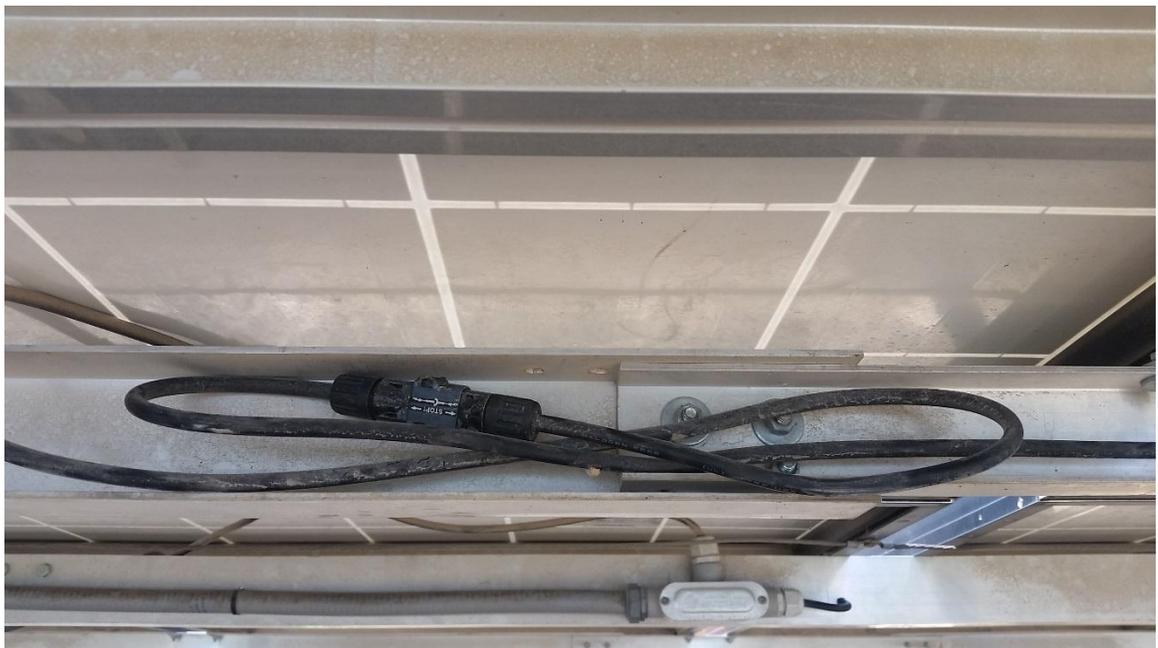


Figura 4.5 Interconexión de los paneles solares

En la figura 4.6 se muestra el montaje de la estructura que soporta los paneles fotovoltaicos, los cuales se encuentran en el techo de la bodega principal de la empresa.



Figura 4.6. Estructura de los paneles ubicados en ABIOSA

En la fig. 4.7 se muestran los paneles instalados a lo largo de la superficie de la bodega principal, con la inclinación correspondiente en la ubicación.



Figura 4.7 Paneles instalados en la empresa ABIOSA

En las figuras 4.8 y 4.9 se muestran los paneles con la ubicación correspondiente, así como la inclinación y un área de separación, la cual servirá para poder alcanzar los paneles cuando allá que darles mantenimiento.



Figura 4.8 Primer subcampo de paneles conectados



Figura 4.9 Vista frontal de los paneles instalados en la empresa ABIOSA

En las figuras 4.10 y 4.11 se hizo el montaje de los inversores los cuales cada uno soportara una carga máxima de 10 kW y las canaletas de los cables de conexión provenientes de los módulos fotovoltaicos.



Figura 4.10 Inversores SUNTREE conectados en la central de ABIOSA



Figura 4.11 Vista frontal del inversor SUNTREE

4.2 Conclusiones

Al llevar a cabo el proyecto, pudimos percatarnos de algunos factores los cuales no tomamos en cuenta al elaborar dicho proyecto y que nos trajeron problemas al implementar la central. Debido a la ubicación, el clima, la altura y la flora en esa zona hicieron que se rediseñara la central, para establecer los lugares apropiados para cada elemento de la central.

Se diseñó y se llevó a cabo la primera etapa en el diseño de esta central, que por sus dimensiones es una de las más grandes en el estado. La dimensión de la central hizo complicada la posición de los paneles fotovoltaicos, los cuales se encuentran ubicados en el techo de uno de los edificios principales de la empresa

En esta primera etapa nos vimos en la necesidad de dejar pendientes algunos aspectos constructivos en el proyecto, por ello se nos dio a la tarea el dejar dimensionada toda la central, para su puesta en marcha en fechas posteriores, debido a índoles ajenas. Si bien no se lleva a cabo la puesta en marcha de la central en esta primera etapa queda en manos de otras personas en una segunda etapa posterior a esta.

Se pretende el rediseño de algunas partes de la central debido a que no se tomó en cuenta en la primera etapa el sistema monitoreo y adquisición de datos, esto servirá posteriormente para el buen manejo de la producción diaria de energía.

5. Referencias Bibliográficas

Centro de Información y Documentación, Marianella G. Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo, Madrid, IEPALA. 1999. 174 p.

Instituto de Tecnología y Formación, Javier Méndez, Rafael Cuervo, Energía Solar Fotovoltaica, 2ª Edición, España, Fundación confemental, 245 p.

Manuel Fernández, Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica, Madrid, Liberfactory, 2010. 71 p.

Energías Renovables para el Desarrollo, José María de Juana, Madrid, Paraninfo, 2003.

Instalaciones Fotovoltaicas, Agustín Castejón, German Santa María, España, Editex.

Las Energías Renovables, Laura Jarauta, Barcelona, VulSaber, 2014

La Energía Solar en México (Situación Actual y Perspectivas), Alfonso Castellanos, Margarita Escobedo.

Principles Of Soler Engineering, Yogi Goswani, Frank Kreitch, Yan F. Kreider, Taylor & Francis, 2000, 2º Edición.

Hand Book of Photovoltaic Since and Engineering, Antonio Luque, Esteven Hegedus, 2º Edición, Wiley, 2011.

Photovoltaic Solar Energy Generation, A. Goetzberger, V. U. Hoffmann, Springer, 2010.

Energías Renovables, Jaime Gonzalez Velasco, Editorial Reverte, 2014

Tecnología Solar, M. Ibáñez Plana, J. R. Rosell Polo, Madrid, Mundi-Prensa, 2011.

Energías e Impacto Ambiental, Blanca Azcarate Luxan, Alfredo Mingorance Jiménez, España, Equipo Sirius, 2003.

Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), Antonio Madrid, España, AMV Ediciones, 2009.

Curso de Energía Solar (Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica), Antonio Madrid Vicente, España, AMV Ediciones, 2009.

NOM-001-SEDE-2012

6. REFERENCIAS WEB

<http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

<http://www.econotecnia.com/historia-de-los-paneles-solares.html>.

<http://abiosamexico.com/>

7. Anexo

ANEXO 1

A continuación se mostrarán los aspectos técnicos del inversor 10000 TI dadas por el fabricante:

Tabla A1. Características principales del inversor SUNTREE

Model (SUNTREE)	5000TL	6000TL	8000TL	10000TL	12000TL	15000TL	17000TL	20000TL	30000TL	
Input (DC side)										
Max. DC Input Power	5180W	6200W	8300W	11200W	13300W	15800W	17900W	21000W	32000W	
Max DC Voltage	900Vdc			1000Vdc						
Start Voltage	250Vdc									
MPPT Operating Range	250~720Vdc			250~800Vdc						
Number of Inputs	2			4		6		10		
Number of MPPT Trackers	2									
Max. Input Power per MPPT	3500W	4000W	5000W	6000W	7000W	8500W	9500W	11000W	16500W	
Max Input Current	20A	24A	32A	44A	48A	60A	64A	70A	82A	
Output (AC side)										
Nominal Output Power	5000W	6000W	8000W	10000W	12000W	15000W	17000W	20000W	30000W	
Max Output Power	5000W	6000W	8000W	10000W	12000W	15000W	17000W	20000W	30000W	
Rated Output Current	7.3A	8.7A	11.6A	14.5A	17.4A	21.7A	24.6A	29.0A	43.5A	
Max. Output Current	7.9A	9.5A	12.7A	16.0A	19.4A	24.3A	27.5A	32.3A	48A	
Nominal Output Voltage	400Vac									
Output Voltage Range*	330~480Vac									
Grid Frequency Range*	50/60±5Hz									
Power Factor	0.9 (leading)~0.9 (lagging)									
THDI	<3% (at nominal output power)									
Efficiency										
Max Efficiency	97.6%	97.8%	98.1%	98.2%	98.2%	98.2%	98.2%	98.2%	98.2%	
Euro Efficiency	96.7%	96.9%	97.3%	97.6%	97.6%	97.6%	97.6%	97.6%	97.8%	
MPPT Efficiency	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.6%	99.9%	
System										
Operation Temperature	-25°C~+60°C									
Noise	≤25dB (A)			≤50dB (A)				≤65dB (A)		
Consumption at night	0W									
Electrical Isolation	Transformerless									
Cooling Concept	Natural Cooling			Fan Cooling						
Degree of Protection	IP65									
Communication	RS 485/RC 232 (WiFi optional)									
Dimension (W*D*H mm)	470*165*560			470*165*585		470*165*670		580*235*8		
Weight (kg)	32			35		50		60		

ANEXO 2

Tabla A2. Ficha técnica del cable XLPE

CABLES MULTICONDUCTOR XLPE + PVC Y EPR + PVC
600 / 90 °C
<p>Descripción general</p> <p>Cable de tres o cuatro conductores de cobre suave, con aislamiento individual termofijo de XLPE o EPR. Color negro, identificados por números marcados, rellenos para dar sección circular, cinta reunidora y cubierta exterior termoplástica de policloruro de vinilo (PVC).</p>
<p>Especificaciones</p> <ul style="list-style-type: none">• NOM-001-SEDE Instalación eléctrica (utilización).• NMX-J-451-ANCE Cables de energía de baja tensión con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o a base de etileno propileno, para instalaciones hasta 600 V.• ICEA S-95-658 Standard for nonshielded cables rated 0 to 2000 V for use in distribution of electric energy.
<p>Principales aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none">• Estos cables están diseñados para alimentar circuitos de baja tensión en plantas industriales.• Pueden instalarse en charolas o tubería conduit y en instalaciones subterráneas o expuestas a la luz solar, en lugares húmedos o secos.• Aprobados para usarse en charolas, portan la marca SR y CT según requisitos de la NOM-001-SEDE.
<p>Características</p> <ul style="list-style-type: none">• Tensión máxima de operación: 600 V.• Temperaturas máximas de operación en el conductor:• 90°C En ambiente seco o húmedo.
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none">• Satisfacen la prueba de resistencia a la propagación de la Flama FV-2 (NMX-J-192).• Su aislamiento termofijo ofrece una mayor estabilidad térmica.• Cumplen la prueba de resistencia a la propagación de la flama en conductores eléctricos colocados en charola vertical (NMX-J-498), y la prueba de resistencia a la intemperie del aislamiento o la cubierta de conductores eléctricos (NMX-J-553).

Información complementaria

- Se fabrican en calibres de 8,367 a 253,4 mm^2 (8 AWG a 500 kcmil).
- Cable con características de no propagación de la flama.
- Aislamiento termofijo de polietileno de cadena cruzada (XLPE) o etileno propileno (EPR) color negro.
- Identificación por medio de números marcados con tinta.
- La cubierta exterior es de policloruro de vinilo (PVC) en color negro.
- Conductor de puesta a tierra opcional.
- La marca CT y SR aplica para todo el rango de calibres. Cubierta negra o colores.

Tabla A2.1 Tabla de propiedades del cable XLPE.

Designación	Espesor nominal de la cubierta exterior	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado (EPR) kg / 100 m		Capacidad de conducción de corriente* Ampere		
			sin conductor de puesta a tierra	con conductor de puesta a tierra	60°C	75°C	90°C
8	1,52	16,7	44	48	40	50	55
6	1,52	18,8	61	68	55	65	75
4	1,52	21,4	89	95	70	85	95
2	2,03	25,9	136	146	95	115	130

ANEXO 3

Tabla A3. Parámetros de radiación solar (NASA).

Northern boundary
17

Western boundary Center Eastern boundary
-94 Latitude 16.5 -93
 Longitude -93.5

Southern boundary
16

Parameters for Tilted Solar Panels:

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m²/day)

Lat 16.753 Lon -93.116	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.33	5.01	5.92	6.15	5.90	5.32	5.64	5.45	4.74	4.51	4.50	4.28	5.14
K	0.53	0.55	0.59	0.58	0.54	0.49	0.52	0.51	0.46	0.48	0.54	0.55	0.53
Diffuse	1.51	1.69	1.84	2.10	2.27	2.34	2.29	2.28	2.17	1.90	1.55	1.40	1.94
Direct	4.99	5.36	6.08	5.79	5.17	4.28	4.79	4.51	3.75	4.11	5.09	5.23	4.93
Tilt 0	4.30	4.96	5.85	6.05	5.77	5.29	5.61	5.35	4.67	4.47	4.46	4.25	5.09
Tilt 1	4.34	5.00	5.87	6.05	5.78	5.30	5.62	5.34	4.68	4.50	4.51	4.30	5.11
Tilt 16	4.91	5.43	6.08	5.95	5.74	5.35	5.65	5.18	4.72	4.76	5.05	4.95	5.32
Tilt 31	5.23	5.58	5.98	5.56	5.43	5.15	5.42	4.79	4.54	4.79	5.33	5.34	5.26
Tilt 90	3.86	3.55	2.96	1.99	2.15	2.42	2.41	1.74	2.16	2.85	3.79	4.12	2.83
OPT	5.29	5.58	6.09	6.05	5.79	5.36	5.67	5.35	4.73	4.80	5.36	5.45	5.46
OPT ANG	41.0	31.0	19.0	4.00	7.00	11.0	10.0	0.00	11.0	25.0	38.0	44.0	20.0

ANEXO 4

Modalidad de interconexión de fuentes de energía renovable

Para el inicio formal de trámite se requiere que el cliente entregue la siguiente documentación:

- Formato 1

FORMATO 1
SOLICITUD PARA A CONEXIÓN DE UN CLIENTE CON GENERACIÓN RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACIÓN EN PEQUEÑA O MEDIANA ESCALA.

Datos comerciales:

Nombre del Cliente: _____

Dirección: _____ Población: _____

Estado: _____ R.P.U. _____ Tarifa: _____

Datos de la Instalación Actual

Voltaje que CFE suministra: _____

KVA totales instalados: _____ Kw instalados _____ Kw contratados _____

Instalación Propuesta

1. Indicar el tipo de Fuente de Energía para usar: Solar Eólica BioGas
 Cogeneración Otro _____

2. Indicar el Número de unidades generadoras (paneles solares, hélices etc): _____ unidades

3. Indicar la capacidad total en Watt de la Planta de Generación: _____ Watt

4. Indicar la producción diaria promedio estimada de la planta de Generación: _____ Wh

5. Indicar el modelo y marca del dispositivo CD/CA : _____

6. Indicar las protecciones que se proveen:

Sobre Voltaje Sincronismo Anti-Isla
 Sub Voltaje Frecuencia Sobrecorriente

6b. En caso de Media Tensión, indicar la marca y modelo de las protecciones incluidas:

7. Indicar los documentos entregados a CFE:

Convenio completamente llenado Copia del manual del fabricante del generador
 Copia del manual del fabricante del dispositivo CD/CA Croquis de ubicación
Geografica.

Observaciones

Lugar y Fecha: _____

Recibe: _____

Figura A4. Formato de solicitud para la interconexión a la red de CFE.

- Fotografía para determinar las condiciones del preparativo
- Ficha técnica del panel o generador
- Extracto del manual de operación del inversor
- Documentos generales para acreditar personalidad

Los servicios de pequeña escala individuales de capacidad instalada son:

- Residencial hasta 10 kW
- Generales hasta 30 kW

La contratación de este servicio de interconexión se realizará únicamente en ventanillas.

La potencia máxima a instalar no podrá ser mayor a la carga contratada, en el caso de que sea mayor se deberá regularizar la nueva demanda y carga contratada.

ANEXO 4

Fotos tomadas de la empresa ABIOSA



Figura A4.1 Empresa ABIOSA



Figura A4.2 Entrada principal de la bodega de ABIOSA

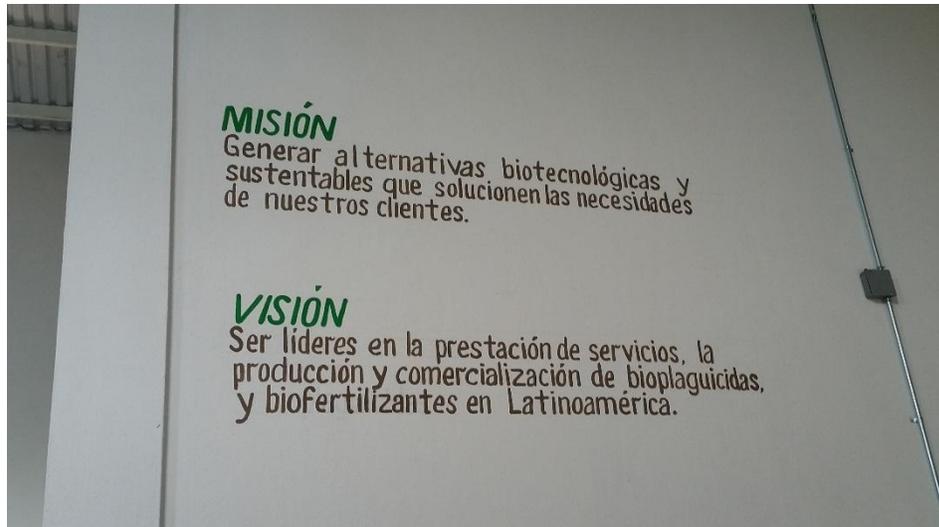


Figura A4.3 Misión y Visión de la empresa ABIOSA



Figura A4.4 Luminaria de la empresa



Figura A4.5 Visita a la empresa



Figura A4.6 Pantalla frontal del inversor

ANEXO 5

Estimación de la potencia generada

Para los cálculos de la estimación del tamaño del SSF y la potencia generada por el mismo se tuvo en cuenta la radiación solar en la región y el consumo promedio mensual estimado según el crecimiento estimado para los próximos años. Para la determinación de la radiación solar se usó el promedio de radiación solar para el estado de Chiapas que según se muestra en la siguiente tabla es de 4.6 kWh/m^2 al día, este valor fue disminuido a 4 kWh/m^2 para tener en cuenta la disminución de la radiación debido a la alta niebla existente en horas de la mañana en el sitio específico.

Tabla A5 Radiación solar en Chiapas

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
Baja California Sur	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
Baja California Sur	San Jose del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Campeche	Campeche	4.8	5.7	6.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	6.0	5.2
Chiapas	Tuxtla Gutierrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7

El consumo energético fue estimado en una cantidad constante durante el año de 3, 842 kWh/mes.

Con los datos anteriores la potencia en kW de la central fotovoltaica fue determinada por la siguiente ecuación:

$$P \text{ (kW)} = (\text{Consumo Energético} / (\text{HSP} \times 365)) \times 95\%$$

Donde:

$$P \text{ (kW)} = ((3, 842 \text{ kWh/mes} \times 12 \text{ meses}) / (4 \text{ kWh} / \text{m}^2 \times 365)) \times .95$$

$$P \text{ (kW)} = 29.999 \approx 30 \text{ kWh}$$

En la siguiente tabla se muestra una tabla resumen de los valores iniciales tenidos en cuenta cálculos energéticos como de rentabilidad.

Tabla A5.1 Costo de la implementación solar

Costo y retorno de Inversión del Sistema Solar Industrial-Comercial	Sistema Solar Interconectado ABIOSA
Consumo promedio anual actual	46.104 kWh/año
Tamaño del Sistema Solar	30,0 kWp
Generación solar anual	43.799 kWh/ año 3.650 mensual
Porción a afinarse	70%
Tasa de interés	3%
Duración del financiamiento	5 años, pagos iguales

Tabla A5.2 Cálculos de la implementación solar

Base de cálculo		
1. Tarifa OM zona Occidente	2,00	pesos/kWh antes de IVA
2. Incremento anual estimado en electricidad de CFE	3,0%	histórico descontada inflación
3. Horas diarias equivalentes de operación a potencia nominal	4,0	horas/año
4. Costo anual de Operación y Mantenimiento	12.000	pesos
4. Tipo de cambio base	13,00	pesos/USD

Consumo Actual a CFE, kW/h.

Tabla A5.3 Consumo kW/h

	Enero-Diciembre
2015	\$3.842

ANEXO 6

Seguridad y protección

El SSF de generar la energía eléctrica de forma segura y fiable, para lo cual se hace necesario una serie de características técnicas y un paquete de medidas que deben ser tenidas en cuenta durante la operación y mantenimiento. A continuación se describen las fundamentales para las diferentes partes del sistema.

1. Panel Solar

El panel solar estará ubicado en la parte superior del edificio principal y sobre la barda de la entrada principal de tal forma de no estén al alcance de persona alguna que no sea el personal especializado o autorizado para tal efecto. Está compuesto por módulos de muy alta calidad y certificados por varios laboratorios reconocidos a nivel mundial, tienen de forma legible y claramente visible el modelo y nombre del fabricante, identificación individual y número de serie, son del mismo modelo y tipo.

Características generales:

Los módulos tienen diodos de derivación para evitar posibles averías de las células y sus circuitos por sombreado parciales. Los marcos laterales, serán de Aluminio.

La potencia de máxima y la corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar, están comprendidas en el margen del $\pm 5\%$ de los valores nominales señalados en catálogo.

Según la inspección visual realizada no presentan defectos de fabricación (roturas o manchas en cualquiera de sus elementos), o falta de alineación de las células y burbujas de aire en el encapsulante.

La estructura del generador se conectará a tierra. Por motivos de seguridad y con el fin de facilitar el mantenimiento del sistema, se instalarán elementos de desconexión (fusibles e interruptores) en ambos terminales de manera independiente en cada una de las ramas del resto del generador.

2. Inversor.

Los tres inversores provienen de una de los fabricantes más reconocidos a nivel mundial y cumplen con las características que se exigen para una instalación FV conectada a red:

Tiene conexión a la red eléctrica con una potencia de entrada variable que se capaz de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador FV pueda proporcionar a lo largo del día.

Principio de funcionamiento autoconmutado con fuente de corriente con Interruptor magnetotérmico e Interruptor diferencial.

Tiene sistema de seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.

No funcionará en modo isla o aislado, lo cual significa que si se deja de fluir la corriente proveniente de la red este se apagará automáticamente.

Cumple con la directivas de Seguridad Eléctrica y compatibilidad electromagnética (ambas certificadas por el fabricante) incorporando protecciones frente a: Cortocircuitos en CA, tensión de red fuera de rango, Frecuencia de red fuera de rango, sobretensiones mediante varistores o similares, perturbaciones presentes en la red como: microcortes, pulsos, defectos de ciclos o ausencia y retorno de la red.

Cada inversor dispone de las señalizaciones necesarias para su correcta operación, incorporando los controles automáticos que aseguren la adecuada supervisión y manejo.

Tiene encendido y apagado general del inversor, conexión y desconexión del inversor a la interfaz AC, contactor automático de interconexión máxima y mínima frecuencia (59 y 61 Hz), sistema de aislamiento red/panel- AC/DC.

El autoconsumo de los equipos (pérdidas en vacío) en “stand-by” o “modo nocturno” es inferior a un 2% de su potencia de salida nominal.

El inversor inyecta en red, para potencias mayores de 10% de su potencia nominal.

Garantizar su operación en condiciones ambientales: Temperatura entre 0°C y 80°C y Humedad relativa del 0 al 100%.