

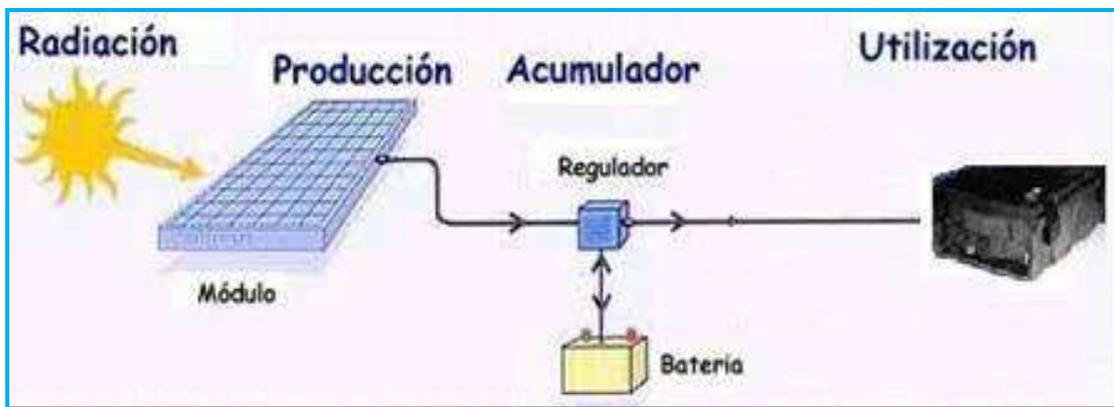
Capítulo 1

Celdas Fotovoltaicas

1.1 Sistema de Generación Solar

Un sistema fotovoltaico o de energía solar, es un conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, adecuada a los requerimientos de una aplicación determinada. Este sistema se compone de tres principales elementos:

- 1) Generación ó Producción (Celdas o Módulos Solares)
- 2) Control (Reguladores de Voltaje o Controladores)
- 3) Almacenamiento (Baterías o Acumuladores)



1.2 Funcionamiento de las Celdas Fotovoltaicas

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente, mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del voltaje o de potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil para una aplicación determinada.

Las celdas de Silicio mono cristalino representan el estado comercial de la tecnología fotovoltaica. Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, posteriormente las obleas se pulen por ambas caras. Durante el proceso de corte y pulido se desperdicia casi la mitad del material original. Una vez pulidas las obleas se introduce a alta temperatura un material dopante, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo p si se le añadió boro, o tipo n si se añadió fósforo. La mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0.5 Volts, independientemente del área superficial de la celda, sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará.

El espesor requerido para que se lleve a cabo el efecto fotovoltaico y se evite al máximo la recombinación de portadores de carga es del orden de 3 a 4 $[\mu\text{m}]$, por este motivo, la celda se torna extremadamente frágil ocasionando que en el proceso de manufactura se generen más desperdicios. Existen muchas combinaciones de materiales que poseen las características requeridas para convertir directamente la energía solar con eficiencias mayores que el 13%, destacando entre ellas el silicio, sulfuro de cadmio y el arseniuro de galio.

Para la mayoría de aplicaciones en que están relacionadas las celdas fotovoltaicas resulta insuficiente la diferencia de potencial de 0.5 Volts generada por una celda, de esta manera las celdas tienen que ser colocadas en serie para que, en conjunto, proporcionen el voltaje adecuado. De la misma manera varias de esas series pueden ser colocadas en paralelo para incrementar la corriente.

Posteriormente las celdas interconectadas en serie y sus conexiones eléctricas se encapsulan y se colocan entre dos placas que pueden ser de vidrio, o bien una de vidrio superior y una posterior plástica o metálica. Para absorber esfuerzos mecánicos y con propósitos de montaje se añade un marco metálico. La unidad resultante recibe el nombre de módulo o panel fotovoltaico, el módulo es típicamente la unidad básica de los sistemas fotovoltaicos. Los módulos pueden interconectarse en serie y/o paralelo para formar un arreglo. Como se muestra en la siguiente figura 1:



**Fig. 1 Modelo multi-contac de Isofotón con garantía de 25 años.
(Garbitek Energías Renovables)**

Una función importante del encapsulado en los módulos es que las celdas puedan quedar protegidas para que operen bajo condiciones de climas cambiantes, o de posibles daños mecánicos producidos por aves, polvo o piedras. El encapsulado proveerá suficiente rigidez para sujetar a las celdas y sus interconexiones. También tiene la función de aislar eléctricamente a las celdas respecto a posibles rupturas dieléctricas. Para los adhesivos encapsulantes y capas intermedias se utilizan resinas de silicón que tienen excelente estabilidad ante la radiación ultravioleta, baja absorción de la luz visible, y son suficientemente elásticas para reducir los esfuerzos térmicos en el módulo.

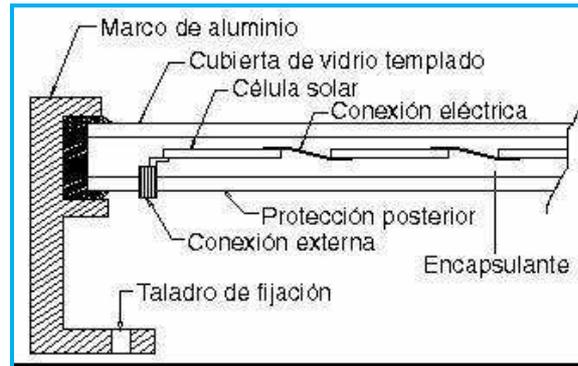


Figura 2. Celda solar

Además de sus innumerables aplicaciones, estos sistemas tienen grandes beneficios al compararlos con otras fuentes de energía:

- No requieren combustible.
- Mínimo mantenimiento.
- Fuente inagotable de energía (el Sol).
- Sistemas modulares.
- Larga vida.
- No contaminan.
- Sistemas silenciosos.
- Fácil transportación.
- Equipo resistente al medio ambiente extremo.

1.2.1 Esquema

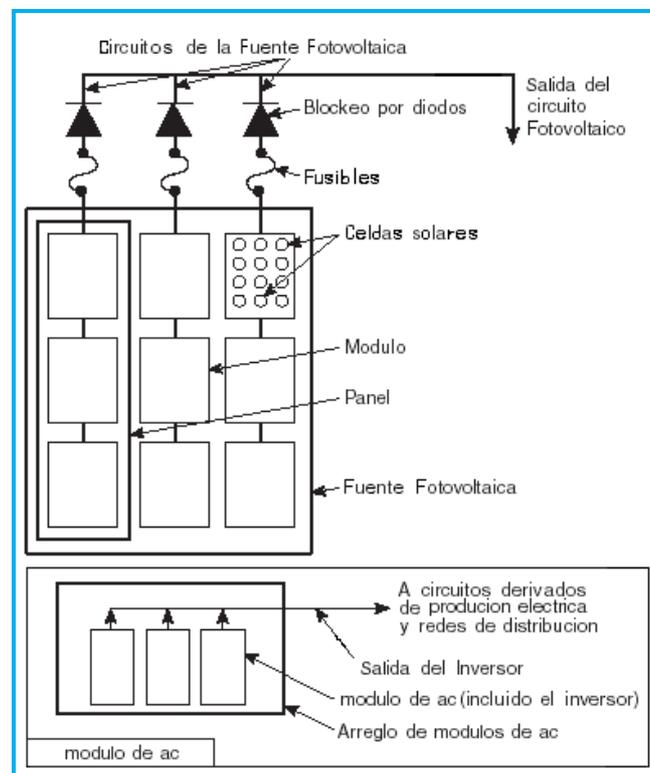


Figura 3 Esquema de un sistema Fotovoltaico.

Figura 690.1 A del NEC

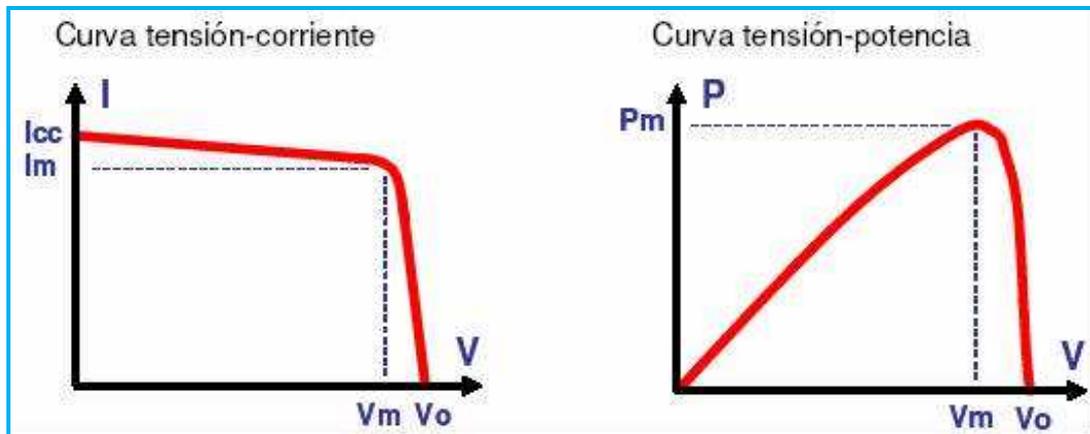
(Identificación de los componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico)

Los diodos de bloqueo impiden que la batería se descargue a través del panel solar cuando se está en ausencia de la luz solar. Evitan también que el flujo de corriente se invierta entre bloques de paneles conectados en paralelo, cuando en uno o más de ellos se produce una sombra, en pocas palabras que en periodos de sombras no pase corriente eléctrica de un panel a otro o de la batería a los paneles.

1.2.2 Curvas Características

Existen dos curvas características para las celdas fotovoltaicas, relacionadas una con la otra, que representan la relación entre la corriente o la potencia generada contra el voltaje en los bornes del panel.

Estas curvas características pueden verse a continuación:



Figuras 4 y 5. Relación de corriente contra voltaje y voltaje contra potencia

Donde:

- Vo = Voltaje en circuito abierto.
- Vm = Voltaje de potencia máxima.
- Im = Corriente de potencia máxima.
- Pm = Potencia máxima.
- Icc = Corriente de Corto Circuito.

Relacionado con las gráficas anteriores se encuentra el llamado factor de forma, que indica la calidad del panel solar en términos energéticos. Este factor de forma relaciona la potencia máxima que es capaz de otorgar el panel con la potencia máxima que realmente podría ofrecer. El factor de forma generalmente se mueve entre valores de 0.7 y 0.8, y son preferibles valores lo más cercano a 1 posible (ya que de esta manera tendríamos que la potencia que entra es igual a la potencia que se otorga).

El efecto de la radiación solar en el panel se muestra en la siguiente gráfica. Se aprecia que cuanto menor es la luz recibida, o de menor intensidad de radiación, menor es la potencia máxima que puede ofrecer la celda manteniéndose aproximadamente constante la tensión de circuito abierto.

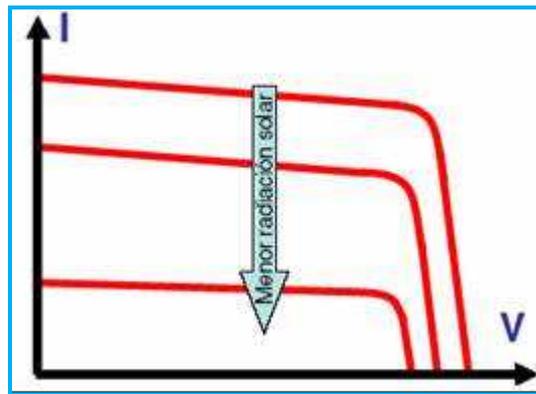


Figura 6. Efecto de la Radiación Solar en los Paneles Fotovoltaicos.

Aspectos a tener en cuenta:

Una celda solar puede generar energía en días nublados, aunque su rendimiento baja con respecto a un día soleado (como se puede ver en la fig.6).

La elevación del lugar donde se instala no tiene ninguna relación con la eficiencia del sistema, es decir que la altura a la que van a ser instaladas las celdas no va a influir en el rendimiento. Los paneles se instalan a cierta altura para evitar sombras y así tener un contacto directo con el sol.

Otro factor importante es la inclinación de la celda, éste debe tener una inclinación de 15° en verano y 30° en invierno con respecto a la horizontal. Esto es debido a que de esta manera se captarán los rayos solares perpendiculares a la celda y nos darán un rendimiento óptimo al sistema. Para evitar la constante inclinación de la celda se puede fijar los 30° de invierno, y así tendremos también en las otras estaciones del año se capte la mayor energía solar posible.

1.2.3 Aplicaciones de la Celdas Fotovoltaicas

A últimos años las energías renovables han tomado un importante auge en la vida cotidiana de todas las personas. En este caso para la generación de energía eléctrica que se consume tanto en los hogares como en la utilización de la industria. Este auge se ha visto más en países como en países como: Alemania, España, EU, Japón, China, Australia, y en particular en Europa¹.

Actualmente las aplicaciones de los paneles Fotovoltaicos son varios, ya que en décadas pasadas eran solo utilizados para áreas remotas y de difícil acceso, pero a partir de los años noventas se lanzó una importante propuesta para colocar los tejados fotovoltaicos, principalmente en EU, y Japón. En Japón actualmente se tiene el propósito de construir 70,000 hogares que utilicen la tecnología fotovoltaica, para así llegar a unos 4,820 MW producidos por sistemas fotovoltaicos.

Una de las aplicaciones que tienen los sistemas fotovoltaicos es la protección catódica. Que es un método de proteger las estructuras de metal contra la corrosión. Es aplicable a puentes, tuberías, edificios, estanques, perforaciones y líneas ferroviarias. Para alcanzar la protección catódica se aplica un pequeño voltaje negativo a la estructura de metal y éste evita que se oxide. El terminal

¹ Ricardo López Corresponsal de ERA SOLAR en Alemania. ERA SOLAR.

positivo de la fuente es conectado a un ánodo galvánico o de sacrificio que es generalmente un pedazo del metal de desperdicio, que es corroído en vez de la estructura que se desea proteger. Las celdas solares fotovoltaicas se utilizan para proporcionar este voltaje.

Las cercas eléctricas se utilizan en la agricultura para evitar que el ganado o los depredadores entren o para dejar un campo cerrado. Estas cercas tienen generalmente uno o dos alambres "vivos" que se mantienen con cerca de 500 volts de Corriente Continua. Éstos dan una dolorosa descarga, pero inofensiva a cualquier animal que los toque. Esta descarga generalmente es suficiente para evitar que el ganado derribe los cercos. Estas cercas también se utilizan en recintos de la fauna y áreas protegidas. Requieren de un alto voltaje pero muy poca corriente y a menudo están situadas en áreas alejadas donde el costo de energía eléctrica es alto. Estas necesidades se pueden resolver mediante un sistema fotovoltaico, un acondicionador de energía y una batería.

Otra de las aplicaciones que tenemos actualmente es que a menudo se requiere iluminación en lugares lejanos donde el costo de emplear energía de la red es demasiado alto. Tales aplicaciones incluyen la iluminación de seguridad, ayudas a la navegación (ej. boyas y faros), señales iluminadas en los caminos, señales en cruces ferroviarios y la iluminación de aldeas. Las celdas solares pueden satisfacer tales usos. Estos sistemas generalmente consisten de un panel fotovoltaico más una batería de almacenaje, un acondicionador de energía y una lámpara fluorescente de C.C. de baja tensión y alta eficiencia. Estos sistemas son muy populares en áreas lejanas, especialmente en países en vías de desarrollo.

Las buenas comunicaciones son esenciales para mejorar la calidad de vida en áreas alejadas. Sin embargo el costo de energía eléctrica para poder hacer funcionar estos sistemas y el alto costo de mantenimiento de los sistemas convencionales han limitado su uso. Los sistemas fotovoltaicos han proporcionado una solución rentable a este problema con el desarrollo de estaciones repetidoras de telecomunicaciones en áreas lejanas. Estas estaciones típicamente consisten de un receptor, un transmisor y un sistema basado en una fuente de alimentación fotovoltaica. Existen miles de estos sistemas instalados alrededor del mundo y tienen una excelente reputación por su confiabilidad y costos relativamente bajos de operación y mantenimiento.

Principios similares se aplican a radios y televisiones accionadas por energía solar, los teléfonos de emergencia y los sistemas de monitoreo. Los sistemas de monitoreo remotos se pueden utilizar para recolectar datos del tiempo u otra información sobre el medio ambiente y transmitirla automáticamente vía radio a una central.

Existen más de 10.000 bombas de agua accionadas por energía solar en el mundo. Son utilizadas en gran parte en granjas para proveer de agua al ganado. En países en vías de desarrollo se las utiliza bastante para bombear agua de pozos y de ríos a las aldeas para consumo doméstico y la irrigación de cultivos. Un típico sistema de bombeo accionado por energía fotovoltaica consiste en un conjunto de paneles fotovoltaicos que accionan un motor eléctrico, el que impulsa la bomba. El agua se bombea de la tierra o fuente de agua a un tanque de almacenaje que proporciona una alimentación por gravedad. No es necesario un almacenaje de energía en estos sistemas. Los sistemas de bombeo accionados por energía solar se encuentran disponibles en proveedores de equipo agrícola y

son una alternativa rentable a los molinos de viento agrícolas para el abastecimiento de agua en áreas alejadas.

1.2.3.1 Aplicaciones en los Sistemas Eléctricos de Potencia

Actualmente la tecnología en sistemas fotovoltaicos esta en completo crecimiento, tal muestra es que en estos momentos se empieza a utilizar este tipo de tecnología de energía renovable para alimentar de energía eléctrica a las industrias y comercios.



Figura 10. Utilización de Sistema Fotovoltaicos en SEP.

Además se están empezando a utilizar este tipo de equipos conectados a la red de distribución eléctrica para ayudar en los picos de demanda, una de estas empresas es la estadounidense Pacific Gas and Electric Company's (PG&E) que tiene la subestación (Kerman) ubicada en Fresno, California, la cual usa la energía producida por sistemas fotovoltaicos para ayudar a proporcionar energía cuando las condiciones de aire acondicionado y bombeo de agua son grandes, especialmente en días calurosos donde se necesita mayor calefacción.

Analistas de PG&E dicen que usando paneles fotovoltaicos en una subestación durante los picos de demanda eléctrica llega a tener sentido económico su utilización. Aunque el costo inicial de la inversión sigue siendo muy grande.

Una de las principales características que se están considerando es que las plantas fotovoltaicas pueden construirse mucho más rápidamente que una planta convencional, ya sea nuclear o de combustibles fósiles, además que los módulos fotovoltaicos pueden expandirse si la demanda se incrementa. Pueden ser instalados para la distribución de energía en lugares donde la población esta creciendo rápidamente, y así eliminar la necesidad de incrementar el tamaño de las líneas de transmisión.

Así como tener más cerca la producción de la energía y evitar pérdidas como las que se tienen en líneas de transmisión que cubren grandes distancias. Instalando equipos fotovoltaicos cerca de las subestaciones se podría evitar la sobrecarga de los equipos en la subestación,



Figura.11 Sistemas Fotovoltaicos cerca de las Subestaciones

1.3 Elección de los componentes para un sistema Fotovoltaico.

Al elegir los paneles solares, se debe tomar en cuenta el voltaje de entrega, la corriente, la potencia que se desea obtener de dichos dispositivos y su relación con los índices de temperatura a la que va a trabajar.

Es importante también tener en cuenta los siguientes parámetros al elegir un panel fotovoltaico:

I_{SC} = Corriente de corto Circuito, Ya que es la máxima intensidad de corriente que podrá proporcionar el panel.

V_{OC} = Voltaje de circuito Abierto, es el máximo voltaje que podrá proporcionar el panel.

Además de:

$I_{PMax.}$ = Corriente Pico Máxima

$V_{PMáx.}$ = Voltaje de Pico Máxima

Ya que la variación de estos parámetros influirá en nuestra $P_{Máx.}$

$P_{Máx.} = I_{PMax.} \times V_{PMáx.}$ Que será la máxima potencia entregada por el panel.

Estas curvas son proporcionadas por el fabricante, y en ellas nos podemos dar cuenta de cómo se va a comportar el panel durante los días de mayor radiación y en la ausencia de la radiación solar, para poder elegir el más adecuado.

Todas estas características por lo general son referidas a condiciones estándar como La irradiación de 1000 (W/m^2), a nivel del mar, y una temperatura de 25 °C.

Además de las características técnicas en el mercado se ofrecen una gran variedad de paneles para: instalaciones de techo, suelo o en la fachada.

En la práctica el error que cometemos al partir de los valores de I_{Pmax} y V_{Pmax} puede corregirse añadiendo una pérdida de eficiencia del 5% al sistema.

1.3.1 Elección de Conductores en Celdas Fotovoltaicas

La ampacidad de los conductores de los circuitos fuente del sistema FV debe ser al menos el 125% de la corriente de cortocircuito del módulo o módulos en paralelo como

se plantea en el Artículo 690-8 de la NOM-001-SEDE-2005, como es el caso en los circuitos derivados para carga continua.

De la misma manera la ampacidad de los conductores de los circuitos de salida del sistema FV debe ser al menos el 125% de la corriente de cortocircuito de salida, así como los conductores que entran o salen del inversor o sistema de acondicionamiento de potencia debe ser el 125% de la corriente de operación del dispositivo. Con estas exigencias de la NOM-001-SEDE-2005 así como del NEC se asegura que los dispositivos de sobre intensidad o cuadros de mando, funcionen a menos del 80% de su ampacidad². Hay que revisar la ampacidad cuando se prevén salidas del sistema FV por encima de lo normal, debido a la presencia de nieve o nubes. En muchos lugares, los valores diarios esperados de irradiación superan el valor estándar de ensayo de 1000 W/m².

La revisión del estándar **UL 1703** de 1989, para módulos fotovoltaicos, exige que las instrucciones de instalación de los módulos incluyan un incremento del 25% en las especificaciones de corriente de cortocircuito y tensión a circuito abierto para 25°C, en previsión de picos de irradiación y temperaturas más frías. El diseño correcto implica el dimensionado correcto del cableado y de la capacidad de los limitadores de corriente en los circuitos fuente y de salida del sistema FV. Sin embargo, la capacidad de los limitadores de corriente debería ser siempre menor o igual que la ampacidad del cable.

Además de los paneles solares tenemos que tener en cuenta en nuestra instalación los siguientes elementos:

- Batería
- Cajas de Conexión
- Conectores
- Conductores
- Diodos de Bloqueo
- Electrodo de Tierra
- Inversor
- Protección de Falla a Tierra
- Reguladores de Carga

1.3.2 Baterías.

La misión primordial de la batería es abastecer de energía eléctrica al sistema cuando no la proporciona el campo de paneles, la batería almacena la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos durante los periodos de sol. Normalmente, las baterías se utilizan durante las noches o días con periodos nublados, el intervalo que incluye un periodo de carga y uno de descarga, recibe el nombre de un ciclo. Idealmente las baterías se recargan al 100 por ciento de su capacidad durante el periodo de carga de cada ciclo.

Las baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son de 12 ó 24 voltios de tensión nominal, y debemos tener presentes las horas ó días de autonomía que debe de tener nuestro sistema para que este listo siempre que se requiera.

Los parámetros que caracterizan una batería son:

² Informe Sandía. Sandia National Laboratories. www.Censolar.org. Sistemas de Energía Fotovoltaica y el NEC.

Capacidad. La capacidad en Amper-hora (A-h) es simplemente el número de Amperes que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuanto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa o sin que se recarguen las baterías. Esta medida de los días u horas de autonomía es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.

Existen factores que pueden hacer variar la capacidad de una batería:

Ritmos de carga y descarga. Si la batería es cargada o descargada a un ritmo diferente al especificado, la capacidad disponible puede aumentar o disminuir. Generalmente, si la batería se descarga a un ritmo más lento, su capacidad aumentará ligeramente. Si el ritmo es más rápido, la capacidad se disminuirá.

Temperatura. Otro factor que influye en la capacidad es la temperatura de la batería y la de su ambiente. El comportamiento de una batería se toma a una temperatura ambiente de 27 grados centígrados. Temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente. Temperaturas más altas producen un ligero aumento de su capacidad, pero esto puede incrementar la pérdida de agua y disminuir el número de ciclos de vida de la batería.

Profundidad de descarga. Este parámetro describe la parte de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería. Como regla general, mientras menor sea la cantidad de energía que se extrae de la batería durante cada ciclo, mayor será la vida útil de la misma.

Selección de baterías

Las baterías se clasifican en dos grandes grupos: ciclo ligero o automotriz y ciclo profundo. En el ciclo ligero o automotriz las baterías se diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas de arranque, se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20 por ciento.

De manera contraria las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos periodos de utilización, sin necesidad de recibir recarga, por lo tanto éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética. Su profundidad de descarga puede ser hasta el total de su capacidad. Pueden ser descargas del 10 al 25% de su capacidad total en cada ciclo. La mayoría de las baterías de "ciclo profundo" fabricadas para aplicaciones fotovoltaicas se diseñan para descargas de hasta un 80% de su capacidad, sin dañarse.

Los acumuladores de ciclo profundo están especialmente diseñados para soportar un alto número de descargas profundas, y ser recargados sin afectar su desempeño, están contruidos con materiales activos de alta densidad con aditivos especiales, además de aleaciones en sus placas que cumplen con el propósito de lograr un mejor desempeño en sus ciclos de carga y descarga, con esto disminuyen el reblandecimiento y desprendimiento del material activo de las placas positivas, prolongando la vida del acumulador sometido a dichas condiciones, a diferencia de los acumuladores automotrices, que al ser sometidos a condiciones de descargas profundas, pierden más rápidamente su capacidad.

Con cada descarga las placas pierden algo del material activo, el que se deposita en el fondo de la caja. Cuando la superficie activa de las celdas se reduce, la vida útil de la

batería disminuye. El número de ciclos que el acumulador puede entregar durante su vida útil depende del porcentaje de descarga y del modelo elegido.

Cuatro parámetros definen la selección de la batería:

Amperes de arranque en frío. CCA en inglés (Cold Cranking Amps).- Este valor corresponde al máximo número de amperes que la batería puede entregar, con una temperatura ambiente de 0°F (-17,77°C), durante 30 segundos, sin bajar el voltaje por celda por debajo de 1,2 [Volts] (7,2 [Volts] de salida para una batería de 12 [Volts]).

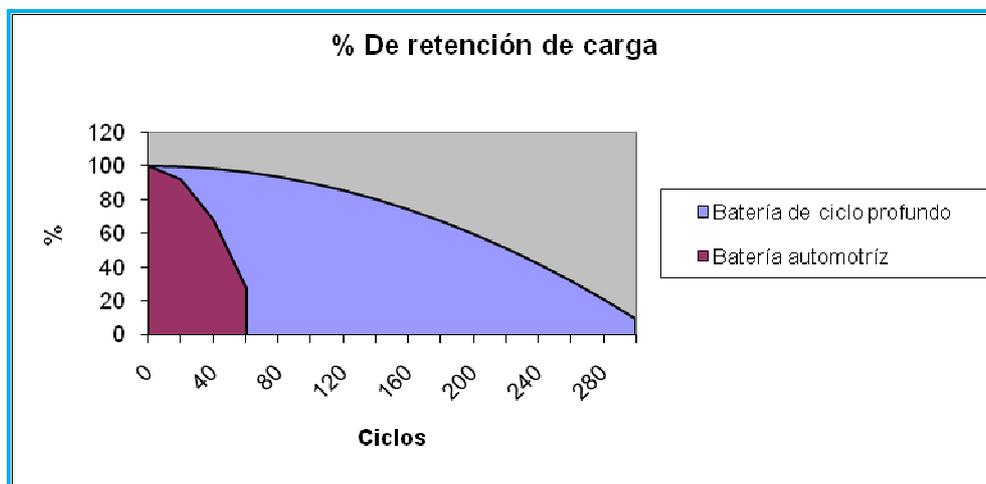
Amperes de arranque. CA en inglés (Cranking Amps).- Este valor corresponde al máximo número de amperes que la batería puede entregar, con una temperatura ambiente de 32°F (0°C), durante 30 segundos, sin bajar el voltaje por celda por debajo de 1,2 [Volts].

Nivel de reserva. RC en inglés (Reserve Capacity).- Representa el tiempo, en minutos, que la batería puede entregar una corriente de 25A con una temperatura ambiente de 80°F (26°C).

Amperes horas (20hrs de descarga). Es el número de amperes que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga.

Todas estas características pueden o no estar en todas las especificaciones de las baterías, aunque por mínimo se deben incluir las de CCA, CA y Amperes/ hora.

Además de las características de su diseño, las demandas de energía de ambos tipos de acumuladores también son diferentes, ya que los acumuladores de ciclo profundo proveen cantidades relativamente bajas de corriente por largos períodos de tiempo, mientras que a un acumulador automotriz se le demandan grandes cantidades de energía por solo unos cuantos segundos; posteriormente, un alternador se encarga de recargarla y de entregar la energía al sistema eléctrico del vehículo en marcha. Un acumulador automotriz descargado de manera profunda, puede perder su capacidad de uso a solo 50 ciclos o menos, mientras que un acumulador de ciclo profundo continúa con óptimo desempeño aún después de los 300 ciclos.



Gráfica 8. Ciclos de baterías automotrices y de ciclo profundo

Las baterías de ciclo profundo pueden permanecer por más tiempo en descarga e inclusive estar de esta manera por varios días, su vida útil oscila entre los 300 a 1000 ciclos de carga y descarga, por tal motivo, podría cargarse y descargarse sin ningún problema durante un año y todavía funcionar, por lo que a este tipo de batería se da mayor tiempo de sustitución llegando a 3 años y medio, dependiendo la ubicación en donde este.

Las baterías de ciclo profundo que se instalan o se cambian, si su periodo de antigüedad llego al límite, presenta las siguientes características:

BATERÍA	VALORES
CA	700 [A]
CCA	575 [A]
RC	160 min
A-hr	95

Gráfica 9. Características de batería de ciclo profundo

Como el estado del clima es aleatorio, no podemos estar seguros, de que tantos días soleados pudieran presentarse al año, sin embargo podremos estimar que las épocas de mayor incidencia podrían estar en otoño e invierno, donde el lapso de luz solar se ve reducido.

El manejo de baterías en los sistemas fotovoltaicos como en el resto del sistema merece un manejo detallado y cauteloso ya que estos acumuladores de energía dan lugar a varios riesgos de seguridad:

- Generación de gas hidrógeno durante la carga de las baterías.
- Corrientes de cortocircuito elevadas.
- Electrolito ácido o cáustico.
- Posibilidad de descarga eléctrica.

En ningún caso deben colocarse en una sala de baterías, o directamente sobre el banco de baterías, reguladores de carga, interruptores, relés y demás dispositivos capaces de producir una chispa eléctrica para evitar cualquier posibilidad de accidente.

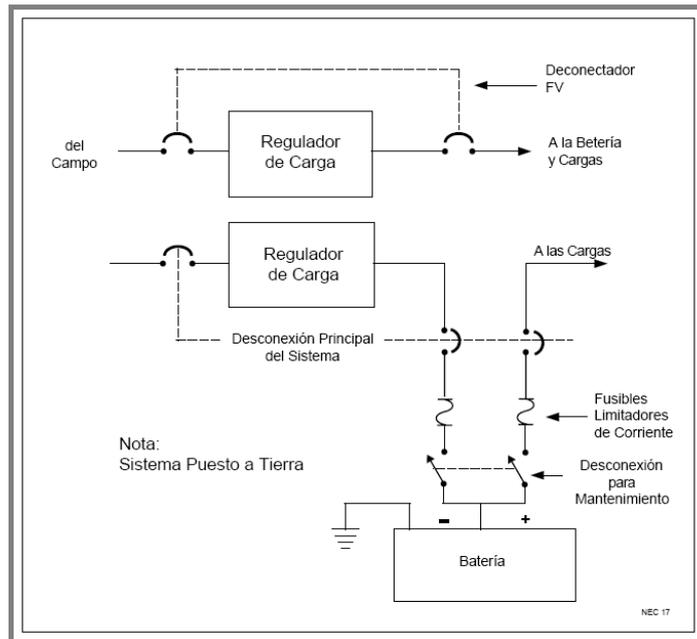


Fig. 5 Precaución en sistemas Fotovoltaicos.

1.3.3 Reguladores de Carga.

El regulador impide la entrada o salida de corriente de la batería cuando una carga ó descarga es excesiva y pueda llegar a dañarla. La mayoría de los reguladores detectan el voltaje de la batería y actúan de acuerdo con los niveles de la tensión.

Los reguladores más modernos son además capaces de desconectar automáticamente los paneles durante la noche para evitar la descarga de la batería, sobrecargar la batería de forma periódica para mejorar su vida útil.

En un día soleado, el Sol irradia alrededor de 1 Kw/m^2 en la superficie de la Tierra³, para México depende de la zona en que se haga la medición pero en promedio van de 3.3 hasta los 8.4 Resultado en Kwh/m^2 por día⁴.

Los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia promedio del 12%⁵. Esto resultaría en la producción de aproximadamente 120 W/m^2 . Sin embargo, no todos los días son soleados, por lo que el aprovechamiento efectivo es menor.

En la mayoría de los casos los periodos de luz del día no suele ser muy largo, se tiene tan solo de 4 a 6 horas efectivas de luz a máxima potencia en la celda solar. Por lo que para ese lapso de potencia ofrecida por la celda debe ser significativa para cargar la batería por completo y dejar que en la noche esta pueda alimentar las necesidades requeridas.

Para proteger la batería de la sobrecarga, el interruptor se abre cuando la tensión en la batería alcanza su tensión de corte por alta (high voltage disconnect HVD), y vuelve a cerrarse cuando la batería vuelve a la denominada tensión de rearme por alta (reconnect HVD). La tensión de corte por alta está en torno a 2.45 V por elemento de la batería, a 25°C.

³ Wiki pedía Enciclopedia.

⁴ www.ecotec2000.de/espanol/sun1.htm

⁵ Wiki pedía Enciclopedia.

En cuanto a la sobre descarga, el interruptor se abre cuando el voltaje de la batería se hace menor que la *tensión de corte por baja (low voltage disconnect LVD)* y se cierra cuando se recupera la *tensión de rearme por baja*. La tensión de corte por baja está en torno a 1.95 V por elemento.

Los valores que se deben conocer del regulador para el cálculo son:

Máxima corriente que permite que circule a través de él. Debe ser un 20% superior a La máxima corriente del generador fotovoltaico.

Tensión de trabajo: 12, 24, ó 48 V.

Otros datos de interés, que también proporciona el fabricante:

Valores de tensión de corte por alta (sobrecarga) y tensión de corte por baja (Sobre descarga).

Existencia de compensación con la temperatura. Las tensiones que indican el estado de carga de la batería varían con la temperatura, por eso algunos reguladores miden la temperatura y corrigen, basándose en ello, las tensiones de sobrecarga.

Instrumentación de medida e indicadores. Suelen llevar un voltímetro que mide la tensión de la batería y un amperímetro que mide la corriente. La mayoría de ellos disponen de indicadores que avisan de determinadas situaciones como: bajo estado de carga de la batería, circuito de paneles desconectado de batería, etcétera.

Dentro del banco de baterías en su parte superior o en lugares cercanos puede desarrollarse una fina capa de electrolito que puede causar quemaduras en el cuerpo, es conductor y en bancos grandes la tensión tan elevada puede ocasionar descargas eléctricas.

Hay reguladores de carga que minimizan la dispersión del electrolito y el uso de agua, al tiempo que minimizan el gaseo de la batería. Para hacer esto, mantienen la tensión de la batería por debajo de la región de gaseo intenso, donde el volumen elevado de gas causa la pérdida del electrolito. Para la carga adecuada de la batería es preciso un cierto gaseo.

Estos reguladores de carga han de colocarse en un armario homologado, con posibilidad de ventilación. Por seguridad, suelen exigirse paneles sin contactos accesibles. Un regulador de carga típico, debería colocarse en un armario homologado por *UL*, de forma que ninguno de sus terminales quedara accesible. Los armarios que contengan reguladores de carga, han de tener entradas para los cables y posibilitar la conexión de un tubo, cuando sea preciso. Debe quedar espacio en el interior para doblar los cables.

1.3.4 Inversores

En sistemas aislados, los inversores se usan a menudo para cambiar la corriente continua (DC) del banco de baterías a corriente alterna (AC) de 120 o 240 volts y 60 hertz (Hz).

Características que deben de tener los inversores:

Confiabilidad ante sobre corrientes, sabiendo distinguir cuándo se debe al arranque de un motor (y tolerarla) y cuándo a un cortocircuito (y cortarla).

Eficiencia de conversión, altamente dependiente de la potencia demandada en cada instante. Como los convertidores muestran una mayor eficiencia trabajando cerca de su potencia nominal, es conveniente seleccionar bien el modelo, a fin de que opere en esta condición habitualmente. El fabricante suele suministrar el rendimiento del inversor al 70% de su potencia nominal.

Cargador de baterías, conmutación automática, muchos inversores también incorporan la función opuesta: la posibilidad de cargar baterías en presencia de una fuente de corriente alterna (red, generador, etc.). A estos inversores se les conoce con el nombre de inversor/cargador. Otra característica especial es la capacidad de cambiar de una fuente de energía (Red, Baterías) de manera automática.

Los conductores entre el inversor y la batería deben tener mecanismos de desconexión y protección contra sobre corrientes Artículo 240,690-8(b) (4),-15. NOM-001-SEDE-2005. Estos inversores suelen soportar sobrecargas de corta duración (decenas de segundos) que son de 4 a 6 veces mayores que la salida nominal⁶. Por ejemplo, un inversor de 2 500 Watts puede verse sometido a una sobrecarga de 10 000 Volt-Amper durante 5 segundos cuando se arranca un motor. El NEC exige que la ampacidad de los conductores entre la batería y el inversor se adecue a los 2 500 Watts de salida del inversor. Por ejemplo, en un sistema de 24 volts, un inversor de 2 500 Watts entregaría 105 Amperes a plena carga (100% de eficiencia a 24 volts) y 420 Amperes para las sobrecargas del arranque de motores. La ampacidad de los conductores entre la batería y el inversor debe ser el 125% de los 105 Amperes, o 131 Amperes.

Para minimizar las caídas de tensión en estado estacionario, se debe tener en cuenta las caídas de tensión ocasionadas por las sobre tensiones y aumentar la eficiencia, para evitar este tipo de problemas se toma en cuenta un calibre mayor en los conductores como requisito de diseño. Así mismo se debe tener en cuenta esta consideración para el conductor de puesta a tierra de los equipos Artículo 250-95. NOM-001-SEDE-2005.

Según el informe de Censolar, cuando el banco de baterías tiene toma intermedia para proporcionar múltiples tensiones (es decir, 12 y 24 volts de un banco de baterías de 24 volts), el conductor negativo común conduce la suma de todas las corrientes de carga simultáneas. El conductor negativo debe tener una ampacidad al menos igual a la suma de todas las capacidades de los dispositivos que protegen a los conductores positivos, o tener una ampacidad igual a la suma de las ampacidades de los conductores positivos Artículo 690-8(c). NOM-001-SEDE-2005.

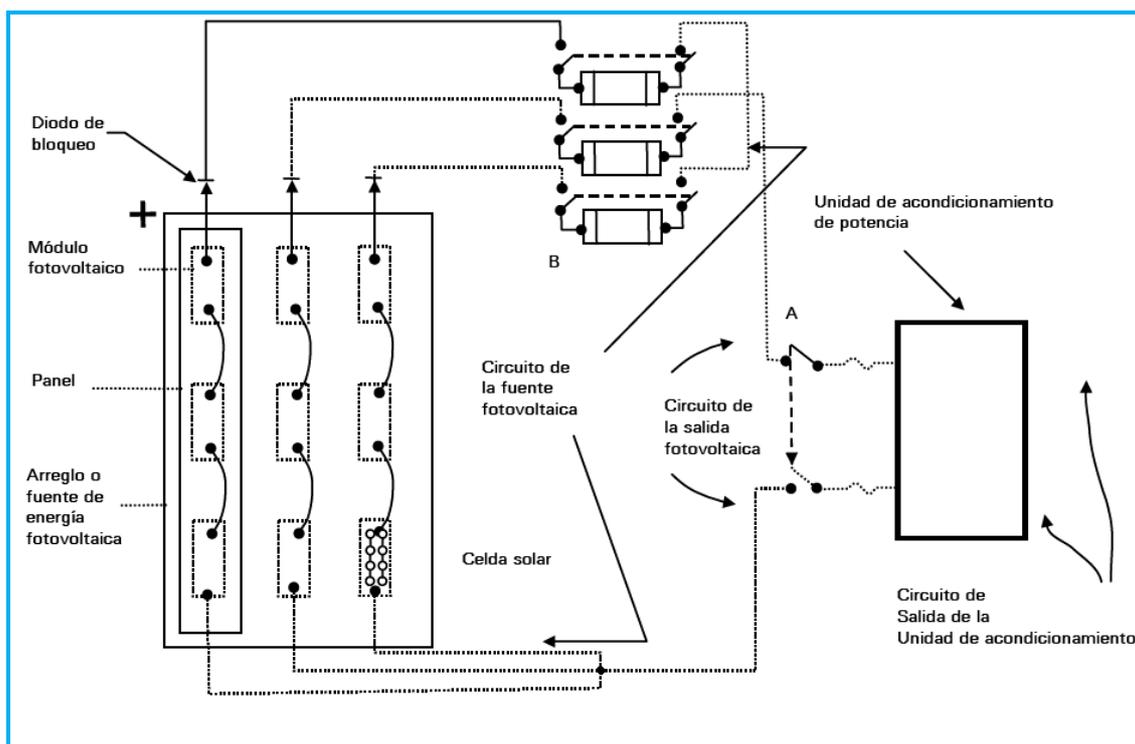
Se recomienda dividir los campos FV grandes en subcampos, teniendo cada uno una corriente de cortocircuito inferior a 64 Amperes. Esto permitirá usar equipo especificado para 100 Amperes (156% de 64 Amperes) en cada circuito fuente.

Con lo anterior nos podemos dar una buena idea de cómo debe de ser nuestra instalación de los paneles solares, y como debemos agruparlos para tener un mejor rendimiento, sin tener que arriesgar a las personas a que sufran un accidente y cualquier ser vivo que este cerca de la instalación como aves u otros animales silvestres.

⁶ Informe Sandía. Sandia National Laboratories. www.Censolar.org. Sistemas de Energía Fotovoltaica y el NEC.

En los sistemas fotovoltaicos como en las demás instalaciones eléctricas es muy importante la seguridad de las personas, en los sistemas fotovoltaicos se tiene que tener en cuenta que mientras los módulos estén expuestos a la luz, estos estarán energizados y por esta razón se debe hacer hincapié en la posibilidad de un choque eléctrico en la instalación, o al reemplazo o servicio de los componentes.

Para los paneles solares la capacidad de tensión eléctrica debe ser la tensión del circuito abierto especificada por el constructor de las celdas.



A: Medios de desconexión requeridos en 690-13.

B: Equipo permitido que debe estar en el lado de la fuente fotovoltaica de los medios de desconexión de dicha fuente, según se indica en la excepción 2 de 690-14. Véase 690-16

Figura 1. Sistema Solar Fotovoltaico

1.4 Sistema Residencial Autónomo de 500 W.

Es así que para este ejemplo se compararían diez paneles fotovoltaicos con las siguientes características:

Tamaño del campo: 10 módulos de 12 V y 51 W.

Marca: Siemens	Modelo: SP75
Potencia: 51 Watts.	Voltaje: 12 Volts.
Voltaje de Circuito Abierto: 20.7 Volts.	Corriente de Cortocircuito: 3.25 Amperes.
Fusible: 15 Amperes.	Irradiación Solar: 1000 W/m ²

Temperatura de Celda: 25° C	Regulador de Carga: 5 A dc
Un inversor de 500 W con una eficiencia del 90%.	Baterías: 800 A-h a 12 V

Como podemos observar las necesidades de nuestro proyecto son aproximadamente 500 W. En función de la radiación incidente, la temperatura y la carga que esté alimentando, un módulo fotovoltaico podrá trabajar a distintos valores de corriente y tensión.

El campo está dividido en dos sub campos de cinco módulos cada uno. Los módulos en cada sub campo se cablean entre sus cajas de conexiones y luego hasta la caja de conexiones del campo.

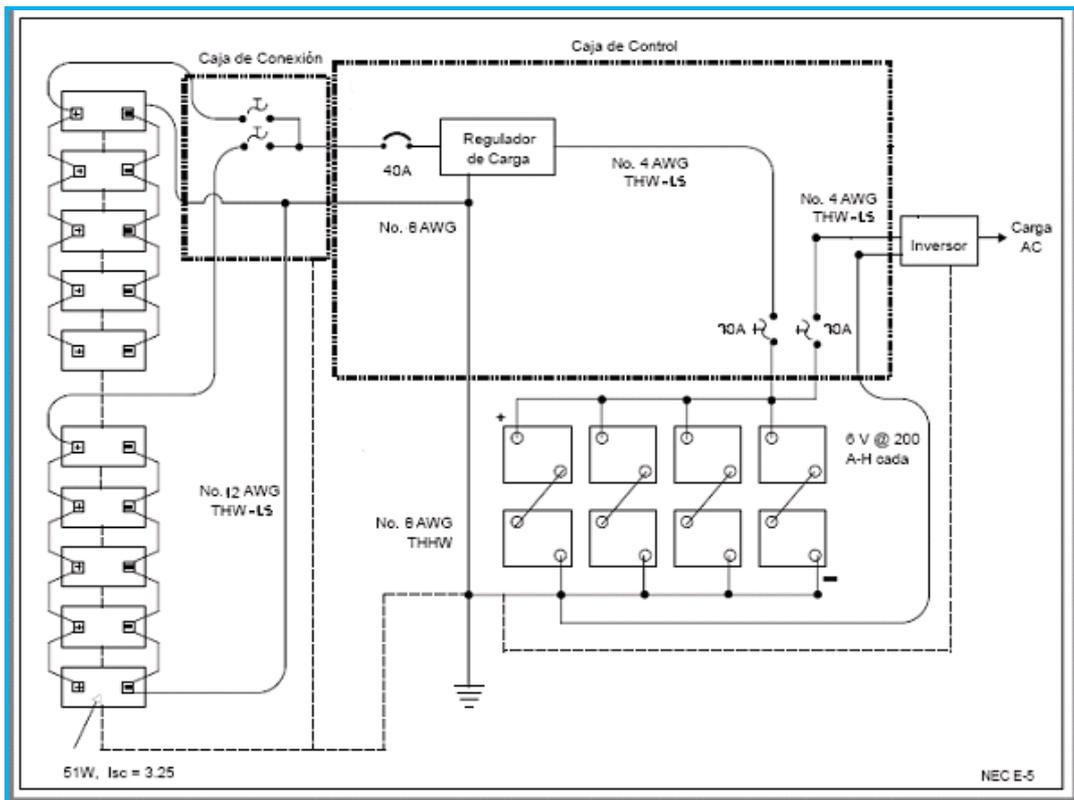


Figura 12. Pequeño Sistema Residencial Autónomo

El cálculo de la corriente eléctrica es como se plantea en la NOM-001-SEDE-2005 en el artículo 690-8 (a) y (b). Los conductores y dispositivos contra sobre corriente no deben de ser menor al 125% de la corriente de corto circuito.

La corriente de cortocircuito de cada módulo es 3.25 A.

Conductores

$$1.25 \times 3.25 = 4.06 \text{ A por módulo}$$

Ahora por cada sub campo tenemos:

$$5 \text{ módulos} \times 4.06 \text{ A} = 20.3 \text{ A.}$$

Por lo que según la NOM-001-SEDE-2005 en la tabla 310-16 nos muestra que el cable THW-LS para 60 °C.

El cable calibre No. 12 AWG, THW-LS = 25 A. > 20.3 A.

La temperatura ambiente en el estado de México es de 20 °C, para nuestro caso utilizaremos 30 °C, por considerar un aumento de la temperatura en época de Verano.

El factor de disminución de ampacidad para el cable THW-LS es de 1 para 26-30°C.

Por lo que tenemos 1 X 25 A. = 25

Por lo que según la NOM-001-SEDE-2005 en su apartado de la tabla 310-16 los conductores marcados con (*) les corresponde un **dispositivo termo magnético de 15 A.**

De acuerdo a la tabla 250-95 de la NOM-001-SEDE-2005, le corresponde un **conductor de tierra de calibre No. 14 AWG.**

Entonces tenemos para cada sub campo:

1 Conductor de Fase	Calibre 12 AWG.
1 Conductor para Neutro	Calibre 12 AWG.
1 Dispositivo contra sobre corriente	15 A.
1 Un conductor de Tierra	Calibre 14 AWG.

Los dos subsistemas se unen para formar el sistema que alimentará la residencia.

Capacidad de conducción de corriente:

10 paneles X 4.06 de corriente de corto circuito = 40.6 A.

Conductores

De la tabla 310-16 el cable THW-LS a 60 °C. Calibre No. 8 AWG = 40 A. > 32.5 A.

Para un dispositivo de sobre corriente de 40 A.

Le corresponde un conductor de tierra de calibre No. 10 AWG.

El inversor tiene una potencia continua de 500 W a 10.75 V y una eficiencia del 90% a este nivel de potencia.

$$I_n = \frac{500}{10.75 \times 0.9} = 51.6[A]$$

$$51.6A \times 1.25 = 64.6[A]$$

Los cables que van desde la batería hasta el centro de control tienen que adaptarse a los 64.6 A requeridos por el inversor, más lo requerido por el cargador de batería.

$$5A \times 1.25 = 6.25[A]$$

Por lo que tenemos 70.85 A.

De la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-2005 tenemos que el cable THW-LS de calibre 4 AWG tiene una capacidad de conducción de corriente de 70 A.

Se puede usar este cable en el centro de control para el área desde las baterías hasta el inversor.

El termo magnético del circuito de descarga debe ser al menos de 70 A. Ó podría usarse uno de 100 A.

El conductor del electrodo de tierra es del número 8 AWG y se dimensiona para ajustarse al mayor conductor del sistema, que es el que va desde el campo hasta el centro de control.

1.5 Diseño del Sistema Eléctrico con Celdas Fotovoltaicas para el Comedor Industrial.

Se colocarán paneles solares con una capacidad de 205 W, y de acuerdo a la demanda que tiene el comedor de aproximadamente 170 Kw necesitaríamos alrededor de:

Potencia de Paneles Fotovoltaicos	205 Watts
Demanda en kW del Comedor	170 kW

$$\frac{170KW}{200W} = 830 \text{ Paneles}$$

Si tomamos en consideración que los paneles solares tienen como tamaño aproximado:

DIMENSIONES aproximadas de los paneles es:

$$1.590 \times 1.047 \times 0.0395 \text{ m. [62.60 x 41.22 x 1.55 in]}$$

Por lo tanto cada panel ocuparía un área de: 1.68 m².

Por lo que los 830 paneles ocuparían un área de: 1411 m².

Que se deberán colocarse en la azotea del comedor. Aunque según el plano arquitectónico del comedor su área es de: 527.6 m² por lo que el área de la azotea del comedor es mucho menor al área necesaria para poder tener la potencia necesaria que requiere, para poder realizar todas sus actividades normalmente.

Debido a esto se necesita ocupar el área aledaña al comedor para poder cubrir las necesidades de instalación de los paneles y demás accesorios.

El cálculo de la corriente eléctrica de los circuitos es de la siguiente manera.

1) Circuitos de la Fuente Fotovoltaica: La suma de la corriente eléctrica especificada de corto circuito de los módulos en paralelo.

2) Circuito de Salida Fotovoltaica: La corriente eléctrica especificada de corto circuito de la fuente de energía fotovoltaica.

3) Circuito de Salida del inversor: La corriente eléctrica de salida especificada del inversor o de la unidad de acondicionamiento de potencia.

En la figura se muestran algunos de los elementos que puede contener un sistema fotovoltaico, estos elementos ya se han mencionado anteriormente y en la figura solo se muestran como un ejemplo.

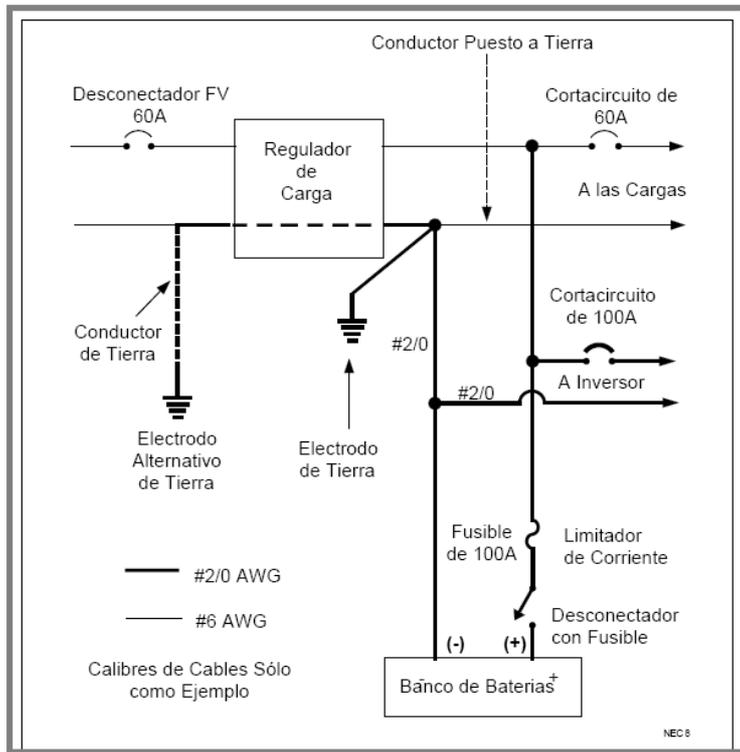


Fig. 2 Elementos de un sistema fotovoltaico

El cálculo de la corriente eléctrica de los circuitos que intervienen en el sistema solar fotovoltaico es muy importante ya que de ellos depende que nuestra instalación suministre la energía necesaria proporcionada por los paneles solares hasta la carga que la requiera.

Los conductores que se recomiendan en los circuitos de la fuente fotovoltaica son del tipo TWD-UV por su exposición a la luz solar como se muestra en el artículo 690-31 a). Métodos de Alambrado, sistemas de alambrado. NOM-001-SEDE-2005.

Nombre genérico	Tipo	Temp. máxima de operación °C	Usos permitidos	Tipo de aislamiento	Tamaño o Designación		Espesor nominal de aislamiento mm	Cubierta exterior ⁽¹⁾
					mm ²	AWG o kcmil		

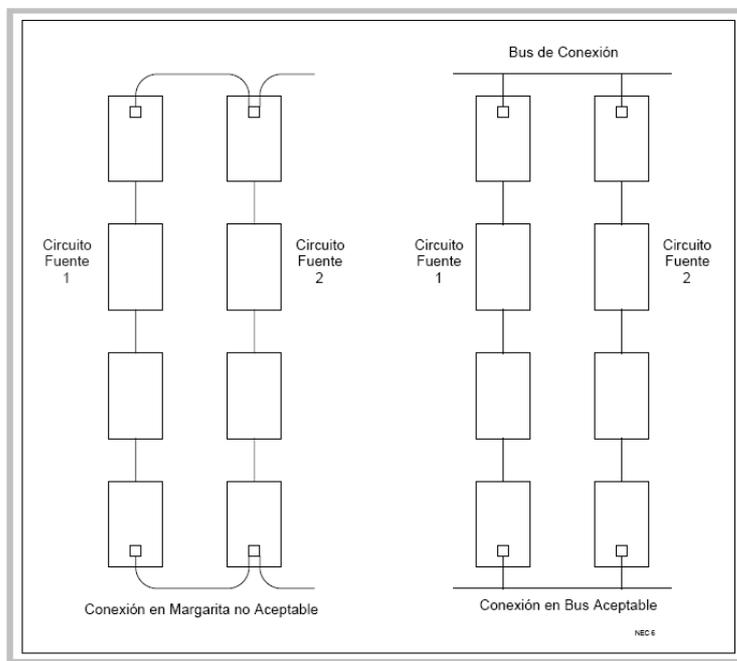
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

Cable plano para acometida aérea y sistemas fotovoltaicos	TWD-UV	60	Lugares secos y mojados. Entrada de acometida aérea. Véase el Artículo 338. Sistemas fotovoltaicos. Véase el Artículo 690.	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la intemperie y a la propagación de incendio.	3,31 -5,26 8,37 - 13,3	12 - 10 8- 6	1,20 1,58	Ninguna
Termoplástico resistente a la humedad, al calor y a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido	THW-LS ⁽⁴⁾	75 90	Lugares secos y mojados. Para la alimentación de equipos de iluminación por descarga eléctrica véase Artículo 410-31	Termoplástico resistente a la humedad, al calor, a la propagación de incendios, y de emisión reducida de humos y gas ácido.	2,08-5,26 8,37 13,3-33,6 42,4-107 127-253 304-507	14 -10 8 6 -2 1 - 4/0 250 -500 600 -1 000	0,76 1,14 1,52 2,03 2,41 2,79	Ninguna

Tabla 310-13. Conductores, Aislamientos y usos. NOM-001-SEDE-2005

Como se muestra en la tabla 310-13 los conductores TWD-UV para sistemas fotovoltaicos tienen características muy semejantes a los conductores THW-LS los cuales son más comerciales, por lo tanto para cálculos se utilizarán los cables THW-LS como referencia.

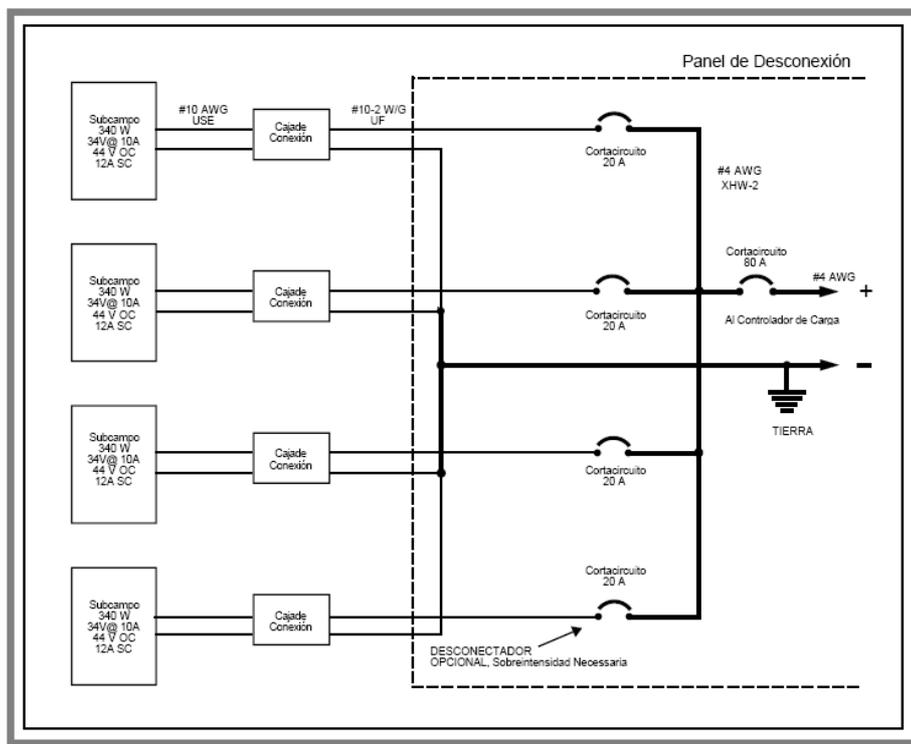
La figura muestra dos maneras de conectar en paralelo los paneles solares, la figura del lado izquierdo es una conexión en donde al desconectar un panel se interrumpe la conexión del conductor de puesta a tierra. En el lado derecho se muestra una conexión de paneles solares que cumple con los requisitos adecuados de la instalación como se expresa en el artículo 690-4(c). Instalación, de la NOM-001-SEDE-2005.



Como nuestro sistema solar fotovoltaico se colocará en la azotea del comedor es necesario tener la protección de falla a tierra como se expresa en el artículo 690-5 Detección e interrupción de fallas a Tierra. NOM-001-SEDE-2005. Para reducir el riesgo de un incendio, interrumpiendo la trayectoria de la falla y desconectando el sistema.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

Como en cualquier instalación eléctrica el sistema fotovoltaico debe protegerse contra sobre intensidades como se indica en la NOM-001-SEDE-2005 en el artículo 690-9. Y 240 Protección contra sobre corriente.



El sistema queda mejor protegido contra transitorios de sobre tensiones por descargas eléctricas atmosféricas si el punto de conexión de puesta a tierra se localiza tan cerca de la fuente fotovoltaica como sea posible.

Las partes metálicas de los marcos de los módulos, del equipo y de las envolventes de conductores que no lleven corriente eléctrica, deben ser puestas a tierra sin importar la tensión eléctrica según 690-43. Puesta a Tierra del Equipo. NOM-001-SEDE-2005.

Para elegir el panel solar utilizamos todas las consideraciones antes mencionadas. De acuerdo a las especificaciones técnicas de los paneles solares Sharp modelo ND-187U1F de 205 Watts.

Características Eléctricas			
Cell	Poly-crystalline silicón		
No. de Celdas y Conexiones	54 en serie		
Voltaje a Circuito Abierto (Voc)	32.7 V		
Voltaje a Potencia Máxima (Vpm)	25.8 V		
Corriente de Corto Circuito (Isc)	7.99 A		
Corriente a Potencia Máxima (Ipm)	7.25 A		
Potencia (Pmax)	205 W (+10% - 5%)		
Eficiencia del Modulo a Máxima Potencia (hm)	12.7%		
Voltaje Máximo del Sistema	600 VDC		
Fusibles	15 A		
Tipo de la Terminal de Salida	Lead Wire with MC Connector		
Características Mecánicas			
	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

Dimensiones	1.5	1	.05
Peso	18.0 Kg.		

Índices máximos de Temperatura	
Temperatura de Operación (min. y máx. °C)	-40 a 90°C
Temperatura de Almacenamiento (min. y máx. °C)	-40 a 90°C

En nuestro sistema fotovoltaico se tiene contemplado utilizar paneles con una potencia de 205 W y 25 V. controladores de carga con una entrada de 12 Volts, baterías de ciclo profundo de 12 volts y 100 A*h, e inversores de 6000 W. y con un voltaje de entrada de 12 V y un voltaje de salida de 240 V.

Para poder generar los 6000 Watts requeridos por el inversor es necesario agrupar los paneles de la siguiente forma:

- 2 Subsistemas con 15 paneles de 200 W cada uno.
- 1 controlador de carga de 12 volts.
- 5 Baterías de ciclo profundo de 12 volts y 100 A*h.
- 1 Inversor de 6000 Watts a 12 volts.

Ahora para la instalación eléctrica de los paneles fotovoltaicos es necesario hacer los siguientes cálculos para cableado, para la interconexión de los módulos y la llegada a la caja de conexión de los dos subsistemas de 15 paneles fotovoltaicos.

La corriente de corto circuito de cada panel es de 8 A.

$125\% \text{ (NOM)} \times 8 \text{ A} = 10 \text{ A.}$ por módulo.

La temperatura ambiente del Estado de México es de 20°C, fuente INEGI. La conducción de corriente del cable TW calibre 14 AWG es de 20 A, aplicando el factor de corrección por temperatura:

$20 \text{ A} \times 1 = 23.5 \text{ A.}$ Por lo que $20 \text{ A} > 10 \text{ A.}$

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

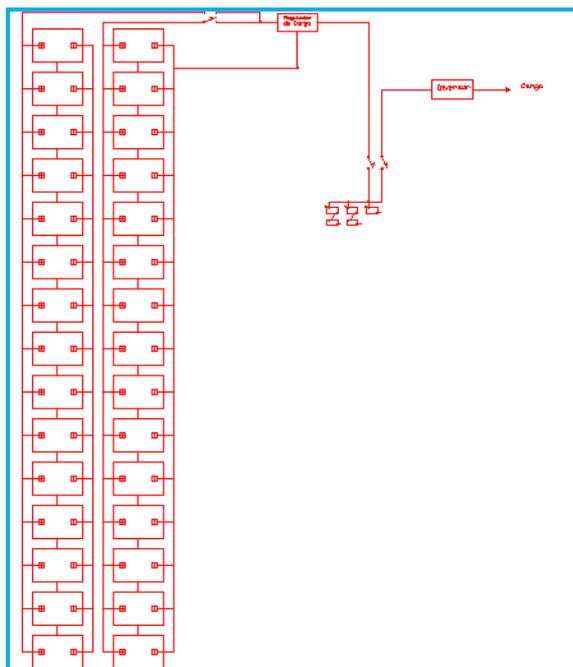


TABLA 310-16.- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil	TIPOS TW*, CCE TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT, USE	TIPOS MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHW-2, XHHW*, XHHW-2, DRS
		Cobre			Aluminio		
0,824	18	---	---	14	---	---	---
1,31	16	---	---	18	---	---	---
2,08	14	20*	20*	25*	---	---	---
3,31	12	25*	25*	30*	---	---	---
5,26	10	30	35*	40*	---	---	---
8,37	8	40	50	55	---	---	---
13,3	6	55	65	75	40	50	60
21,2	4	70	85	95	55	65	75
26,7	3	85	100	110	65	75	85
33,6	2	95	115	130	75	90	100
42,4	1	110	130	150	85	100	115
53,5	1/0	125	150	170	100	120	135
67,4	2/0	145	175	195	115	135	150
85,0	3/0	165	200	225	130	155	175
107	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230

Para cada subsistema tenemos que son 15 módulos X 10 A. por módulo = 150 A.

De la Tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-2005, Tenemos:

La conducción de corriente del cable THW-LS calibre 4/0 AWG es de 195 A.

Por lo que $195 A > 150 A$.

Ahora con este valor obtenemos nuestro dispositivo contra sobre corriente.

Protección: $I_{int} = 1.25 \times I_c = 1.25 \times 150 = 187.5 A$

Para la protección se utilizara un **Interruptor Termo magnético de 3P-200 A**.

Selección del conductor de puesta a tierra.

De la tabla 250-95 de la NOM- 001 –SEDE –2005 se selecciona una **tierra:**
Calibre 6 AWG.

Para el Cálculo de la canalización se utilizan las tablas 4 y 5 del Capitulo 10 de la NOM-001-SEDE-2005.

Canalización:	4 x 123.0 mm ²	= 492 mm ²
	1 x 13.3 mm ²	= 13.3 mm ²
	Total:	505 mm ²

Por lo tanto le corresponde **una tubería de: 40.9 mm** de diámetro ó 1 1/2".
Para la conexión de los subsistemas hacía la carga tenemos lo siguiente:

A la salida del inversor tenemos 6000 Watts y un voltaje de 220 Volts. $\frac{6KW}{220V} = 27.7 A$

Por lo que el conductor adecuado según la tabla 310-16 es de calibre 8 AWG.

$40 A > 27.7 A$.

Para nuestro dispositivo de sobre corriente tenemos lo siguiente:

Protección: $I_{int} = 1.25 \times I_c = 1.25 \times 27.7 = 34.6 A$

Para la protección se utilizara un **Interruptor Termo magnético de 3P- 40 A**.

Selección del conductor de puesta a tierra.

De la tabla 250-95 de la NOM- 001 –SEDE –2005 se selecciona una **tierra:**
Calibre 10 AWG.

Para interconectar los 6 sistemas de 6000 Watts.

Que a su vez se conecta al total del sistema fotovoltaico, 32 sistemas de 6000 Watts teniendo en total 192 KW.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

