



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON**

**“REGULACION Y DISEÑO PARA
CASA-HABITACION ALIMENTADA
CON ENERGIA SOLAR”.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA
P R E S E N T A :

**RAMIREZ ALVAREZ EMMANUEL.
VEGA BONILLA RAFAEL.**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS



Estado de México

2009.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	I
OBJETIVO	V
I.- DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS	
I.1.- CONCEPTOS BASICOS	1
I.1.1.- HISTORIA DE LA ENERGÍA SOLAR	1
I.1.2.- BÚSQUEDA DE APLICACIONES A SU EMPLEO	2
I.1.3.- APLICACIÓN DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ACTIVIDADES TERRESTRES	3
I.1.4.- LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS	4
I.1.5.- SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA CASAS PARTICULARES	6
I.2.- LA RADIACIÓN SOLAR	7
I.2.1.- MASA DE AIRE	8
I.2.2.- IRRADIACIÓN	9
I.3.- SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	
I.3.1.- LA CÉLULA FOTOVOLTAICA	20
I.3.2.- PANEL FOTOVOLTAICO	27
I.3.3.- BATERÍAS	39
I.3.4.- BATERÍAS SOLARES	49
I.3.5.- CONTROL DE CARGA	59
I.3.6.- CABLES DE CONEXIÓN	68
I.3.7.- COMPONENTES AUXILIARES	76
II.- LEYES Y REGULACIONES PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	
II.1.- ANTECEDENTES	89
II.1.1.- ENERGÍA ELÉCTRICA	92
II.1.2.- FORMAS DE GENERACION ELECTRICA	93
II.2.- REQUISITOS DEL <i>CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL (NEC)</i> Y DE NORMATIVAS DE LABORATORIO (<i>UL</i>) (<i>EEUU</i>)	97
II.3.- LEGISLACIÓN MEXICANA	101
II.3.1 NORMAS PARA LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	102
II.3.2 CONTRATO DE GENERACION DE ENERGIA	113
II.3.3 CONCLUSIONES	119
III.- DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CASA HABITACIÓN	
III.1.- PUNTOS A TENER EN CUENTA	123
III.1.1 SISTEMA AISLADO O DUAL	123
III.1.2 DIMENCIONES DE LA CASA Y SU CONSUMO	124
III.1.3 PARRARAYOS	124

III.1.4 ZONA DE TIERRA FISICA ELECTRICA_____	124
III.1.5 HSP O PORCENTAJE DE HORAS DE SOL_____	125
III.1.6 DETERMINAR CONFIABILIDAD_____	125
III.2.- ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE UNA CASA_____	128
III.2.1 CÁLCULOS PANELES_____	128
III.2.2 CÁLCULOS BATERÍAS_____	130
III.2.3 CÁLCULO DEL SISTEMA DE TIERRA_____	131
III.2.4 CÁLCULO DE CONDUCTORES_____	133
III.3.- PRESUPUESTO_____	137
III.4.- INSTALACIÓN_____	140
III.4.1 PASOS DE LA INSTALACION_____	147
III.5 CUMPLIMIENTOS DE NORMAS Y REGULACIONES_____	150
III.6 MANTENIMIENTO_____	154
CONCLUSIONES._____	159
GLOSARIO_____	160
BIBLIOGRAFÍA_____	163

INTRODUCCION

Regulación y diseño para casa-habitación Alimentada con energía solar

El Sol es de las fuentes de energía a la que se le prestó una mayor atención, y en la que se centró gran parte de la investigación en materia de energías alternativas, no en vano se trata de una energía totalmente limpia y 100% renovable. Más aun, salvo por su intervención en el ciclo ecológico, los humanos aprovechamos una ínfima parte. A pesar de ello, existe una gran diversidad de sistemas que permiten aprovechar esta energía.

La aplicación práctica de la energía solar tiene no obstante sus limitaciones técnicas, generalmente relacionados con el rendimiento obtenido, además de que no todos los habitantes de nuestro planeta tienen las mismas oportunidades para su aprovechamiento.

El Sol ilumina la Tierra de forma desigual, y con diferente ángulo e intensidad según la región terrestre de que se trate, la estación del año y el ciclo día/noche. Lo ideal es disponer de una zona que se encuentre iluminada durante la mayor parte del año, eso implica que determinados lugares quedan al margen de su aprovechamiento, tal es el caso de los países nórdicos, en detrimento de los más próximos al Ecuador, que se ven altamente beneficiados, en México tenemos una buena localización ya que en promedio tenemos 5 a 5.5 horas de sol media, esto es que en peor día del año tenemos 4 horas mientras en los mejores días tenemos 7.

Los sistemas de captación de la energía del sol se centran, generalmente, en su superficie captadora, así como en la capacidad para el seguimiento del Sol en toda su trayectoria. Igualmente, en la concentración de la radiación para alcanzar altas temperaturas, que permitan un rendimiento aceptable para su procesamiento por los elementos transformadores.

Otro punto de importancia está referido al sistema de acumulación de la energía obtenida; hay que señalar que durante el periodo de ausencia del Sol, es preciso almacenar esa energía, a la vez que deben entrar en funcionamiento otros recursos energéticos de carácter auxiliar, que permitan mantener en funcionamiento los sistemas o redes conectados a él.

Las aplicaciones de la energía solar suelen estar relacionadas con el empleo de sistemas térmicos, tales como producción de agua caliente, calefacción industrial, generación de vapor, generación de electricidad y otros usos variados.

La energía solar es una alternativa mas a la generación de energía eléctrica hoy en día, que esta tomando importancia en muchos países en especial en Europa, Australia, Canadá, Estados Unidos y Japón.

Funcionamiento y Aplicaciones de la ENERGIA SOLAR. Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada.

1-Generación (Paneles o Módulos Solares)

2-Control (Reguladores de Voltaje y otros Controladores)

3-Almacenamiento (Baterías o Acumuladores)

4-Distribución (Cables, Inversores, etc.)

5-Consumo (Lámparas, Bombas, Computadoras, Motores, Televisores, etc.)

En un sistema típico, la luz solar incide sobre la superficie del arreglo fotovoltaico (paneles o módulos solares) donde se transforma en energía eléctrica de corriente directa por celdas solares; esta energía es reconocida y conducida hasta un controlador de carga que tiene la función de enviar toda o parte de dicha energía hasta el banco de baterías en donde es almacenada para su posterior utilización.

En estos países el gobierno y la industria privada están invirtiendo grandes cantidades de dinero para mejorarla y bajar costes.

En México tenemos un potencial muy grande para esta energía ya que por nuestra ubicación tenemos un valor medio por año de 4.5 a 7 horas de sol dependiendo de la región de la republica Mexicana. Eso nos permite estar en mejor perspectiva que muchos de los países que si la están adoptando como alternativa.

Las Aplicaciones de la Energía Solar.

Las posibles aplicaciones de la energía fotovoltaica son numerosas, aquí mencionaremos sólo algunas de las más importantes:

Doméstico.- Lo mismo para hogares en el medio rural, donde todavía no llega el tendido de las líneas de fuerza eléctrica o en islas o lugares apartados. También para aquellos convencidos del cuidado de la ecología.

Telecomunicaciones, donde por medio de este tipo de energía es posible alimentar sistemas de repetición alejados de la red eléctrica, lo que permite contar con comunicación en zonas apartadas o rurales.

Sistemas de Bombeo de Agua que han ayudado al crecimiento y desarrollo de zonas agrícolas donde la electrificación es escasa o nula.

Sistemas Híbridos junto con los **Generadores Eólicos** que proveen de electricidad en zonas donde el nivel del sol y/o aire al año permiten este tipo de aplicación.

Iluminación y Señalización Pública en caminos y zonas apartadas, lo que ha ayudado a comunidades enteras a contar con mayor seguridad y llevar a ellas servicios básicos;

Sistemas de Vigilancia Remota donde es posible monitorear instalaciones como antenas repetidoras y sistemas de radiocomunicación, siendo estos sistemas altamente eficientes, confiables y autosuficientes.

Obtención de agua en zonas apartadas.- Los nuevos desarrollos de bombas sumergibles de alta eficiencia permiten utilizar la energía solar para obtener agua en pozos semi-profundos.

Teléfonos de carretera. En México contamos con una red de teléfonos de emergencia en las carreteras alimentada con energía solar por medio de paneles solares.

Esta es solo una de las energías renovables.

Se denomina **energía renovable** a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Energía alternativa

Una **energía alternativa**, o más precisamente una *fuentes de energía alternativa* es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

En conjunto con lo anterior se tiene también que el abuso de las energías convencionales actuales hoy día tales como el petróleo la combustión de carbón entre otras acarrear consigo problemas de agravación progresiva como la contaminación, el aumento de los gases invernadero y la perforación de la capa de ozono.

La discusión energía alternativa/convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante este siglo. Es importante reseñar que las energías alternativas, aun siendo renovables, también son finitas, y como cualquier otro recurso natural tendrán un límite máximo de explotación. Por tanto, incluso aunque podamos realizar la transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Es por ello por lo que surge el concepto del Desarrollo sostenible.

Dicho modelo se basa en las siguientes premisas:

Electricidad fotovoltaica.

El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo XXI.

El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales y la fisión nuclear.

La explotación extensiva de las fuentes de energía, proponiéndose como alternativa el fomento del autoconsumo, que evite en la medida de lo posible la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de energía eléctrica.

La disminución de la demanda energética, mediante la mejora del rendimiento de los dispositivos eléctricos (electrodomésticos, lámparas, etc.)

Reducir o eliminar el consumo energético innecesario. No se trata sólo de consumir más eficientemente, sino de consumir menos, es decir, desarrollar una conciencia y una cultura del ahorro energético y condena del despilfarro.

La producción de energías limpias, alternativas y renovables no es por tanto una cultura o un intento de mejorar el medio ambiente, sino una necesidad a la que el ser humano se va a ver abocado, independientemente de nuestra opinión, gustos o creencias.

Clasificación

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

El Sol: energía solar.

El viento: energía eólica.

Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.

Los mares y océanos: energía mareomotriz.

El calor de la Tierra: energía geotérmica.

Las olas: energía undimotriz¹.

La llegada de masas de agua dulce a masas de agua salada: energía azul.

Las contaminantes se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, y se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica o en biodiesel, mediante reacciones de transesterificación² y de los residuos urbanos.

El **capítulo 1** Se enfoca en el concepto de tecnología que utiliza radiación solar que es la fuente de energía de los sistemas fotovoltaicos. También nos explica y detalla los componentes que van ligado con esta tecnología como son; los paneles, control de carga, baterías, cables e inversor, para así entender el funcionamiento y necesidades de cada uno de ellos, ya sea como usuarios, entusiastas de las energías renovables o como profesionales en la materia.

El **capítulo 2** menciona los lineamientos de norma tanto las dos más importantes como son la UL (Under Writer Laboratories) y NEC (National Electric Code), como la que nos

¹ La **Energía undimotriz** es la energía producida por el movimiento de las olas. Es menos conocida y extendida que la mareomotriz, pero cada vez se aplica más.

Algunos sistemas pueden ser:

Un aparato anclado al fondo y con una boya unida a él con un cable. El movimiento de la boya se utiliza para mover un generador. Otra variante sería tener la maquinaria en tierra y las boyas metidas en un pozo comunicado con el mar.

² La **transesterificación** es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éter por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

interesa como es la Norma Mexicana³ de Sistema Solares Fotovoltaico. Esta parte es importante por su carácter de verificador además de que nos indica pautas para diseñar, calcular e instalar un sistema seguro tanto para los componentes como para los usuarios.

Como punto final el **capítulo 3** nos muestra un análisis, estudio, pautas y recomendaciones que se deben de tener a la hora de realizar un proyecto de este tipo. No es que esta forma de llevar a cabo el proyecto sea la única pero es la que a nuestro parecer es la más sencilla para entender, tratamos en este capítulo de simplificar los conceptos vistos en los 2 capítulos anteriores poniéndolos en práctica.

OBJETIVO

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.

Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas *energías alternativas*. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de *alternativas* ya no debe emplearse.

Las fuentes de energía renovables en la actualidad representan un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy marginal: biomasa 5,5%, geotérmica 1,5%, eólica 0,5% y solar 0,05%.

Alrededor de un 80% de las necesidades de energía en las sociedades industriales occidentales se centran en torno a la industria, la calefacción, la climatización de los edificios y el transporte (coches, trenes, aviones). Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones a gran escala de la energía renovable se concentra en la producción de electricidad.

Con esta tesis intentamos hacer un punto de partida para que la gente conozca una de las alternativas que existen para producir energía.

Quitar mitos e inseguridades que existen alrededor de la energía solar como son:

1. ¿Qué es muy cara?
2. ¿Qué es ineficiente?
3. ¿Esta tecnología solo provee energía cuando hay sol?
4. ¿Esta tecnología es solo para expertos?

³ Pag. 133

CAPITULO I

DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS

I.1 CONCEPTOS BÁSICOS

I.1.1 Historia de la energía solar

Siempre en la vanguardia tecnológica, la historia de la energía solar fotovoltaica está marcada por un desarrollo lento pero constante. Descubierta el efecto fotovoltaico como fenómeno de difícil aplicación práctica, poco a poco los avances técnicos fueron permitiendo aprovecharlo más eficientemente hasta lograr que se convirtiera en una fuente de energía práctica y fiable. A inicios del S XXI la energía solar fotovoltaica se presenta como una de las opciones con más futuro para liderar la revolución energética que se aproxima.

Del descubrimiento del efecto fotovoltaico a la primera célula solar.

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Alexandre Edmond Becquerel en 1838 cuando tenía solo 19 años. Becquerel estaba experimentando con una pila electrolítica con electrodos de platino cuando comprobó que la corriente subía en uno de los electrodos cuando este se exponía al sol.

El siguiente paso se dió en 1873 cuando el ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos. En este caso sobre el Selenio.

Pocos años más tarde, en 1877, El inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio.

En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera celda solar con una eficiencia del 1%. La primera celda solar fue construida utilizando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro. Debido al alto costo de esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad. Las aplicaciones de la celda de Selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas.

Si bien en todos estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se obtenía era muy reducida y quedaba descartada cualquier aplicación práctica, se demostraba la posibilidad de transformar la luz solar en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles.

La posibilidad de una aplicación práctica del fenómeno no llegó hasta 1953 cuando Gerald Pearson de Bell Laboratories, mientras experimentaba con las aplicaciones en la electrónica del silicio, fabricó casi accidentalmente una célula fotovoltaica basada en este material que resultaba mucho más eficiente que cualquiera hecha de selenio. A partir de este

descubrimiento, otros dos científicos también de Bell, Daryl Chaplin y Calvin Fuller perfeccionaron este invento y produjeron células solares de silicio capaces de proporcionar suficiente energía eléctrica como para que pudiesen obtener aplicaciones prácticas de ellas. De esta manera empezaba la carrera de las placas fotovoltaicas como proveedoras de energía.

I.1.2 Búsqueda de aplicaciones a su empleo

Pese a los avances técnicos alcanzados en el aumento del rendimiento de las células, los costes eran excesivamente altos y limitaban enormemente su aplicación práctica.

Mientras que en 1956 el coste del vatio de electricidad producido por centrales convencionales rondaba los 50 céntimos de dólar, el producido por paneles fotovoltaicos llegaba los 300 dólares lo que descartaba el uso de esta tecnología como suministrador de grandes cantidades de electricidad.

La demanda de paneles solares solo venia de la industria juguetera, que los empleaba para suministrar potencia a pequeños artefactos como maquetas de aviones y coches, o de la industria electrónica, para aplicarlos en pequeños aparatos eléctricos sencillos como radios para la playa. Esta situación limitaba mucho el desarrollo de esta tecnología ya que eran muy reducidos los ingresos que se generaban haciéndose muy difícil destinar cantidades de dinero importantes a su desarrollo.

Por fortuna se encontró una aplicación ideal para el estado del desarrollo de los paneles solares fotovoltaicos en aquel momento; la alimentación del equipo de los satélites espaciales en la incipiente carrera espacial. El costo no fue un factor limitante ya que los recursos dedicados en la carrera del espacio eran enormes. Primaba la capacidad de proveer energía eléctrica de manera fiable en áreas de muy difícil acceso. En eso la energía solar fotovoltaica resultaba muy competitiva.

Pese a la desconfianza y a las reticencias iniciales de algunos dirigentes de la NASA, la tecnología fotovoltaica acabó por ganarle el pulso a las otras dos tecnologías que se barajaron para alimentar los satélites; las baterías químicas y la energía nuclear. Las baterías una vez agotadas inutilizaban todo el equipo mientras que la energía nuclear ofrecía muchas complejidades y apenas fue utilizado en unos pocos proyectos. Los paneles solares por el contrario eran capaces de suministrar energía de manera fiable por muchos años sin grandes complicaciones.

Así, en 1955, se le asigna a la industria en EEUU el encargo producción de paneles fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Esto significó sin duda un importantísimo impulso que permitió un crucial desarrollo tecnológico del sector. Como ejemplo cabe citar que la empresa Hoffman Electrónica ofreció, en 1955, células de 14 mW con un rendimiento del 3% a un costo de 1500\$/W. Dos años después esta misma empresa desarrolla células solares ya con un rendimiento del 8%.

El 17 de Marzo de 1958, finalmente, se lanza el Vanguard I, el primer satélite alimentado con paneles solares fotovoltaicos. El satélite llevaba 0,1W (tabla I.1) en una superficie

aproximada de 100 cm² para alimentar un transmisor de 5 mW. Si bien en este satélite los paneles solares eran solo la fuente de energía de respaldo, acabaron por convertirse en la fuente principal cuando las baterías consideradas fuente de alimento principal se agotaron en tan solo 20 días. El equipo estuvo operativo con esa configuración por 5 años.

La fiabilidad que habían demostrado los paneles solares fotovoltaicos propició su empleo sistemático en gran número de misiones espaciales y supuso un enorme impulso para la industria fotovoltaica. Sin lugar a dudas la carrera espacial tal como la conocemos no hubiera sido posible sin la existencia de los paneles solares fotovoltaicos. De igual manera se puede afirmar que el actual desarrollo de los paneles solares fotovoltaicos y su importante proyección de futuro hubieran sido muy difíciles sin el impulso que le dio la carrera espacial.

No sólo Estados Unidos utilizó esta tecnología, La Unión Soviética también empleó sistemáticamente los paneles solares fotovoltaicos para alimentar sus satélites.

AÑO	PROYECTO ESPACIAL	POTENCIA DE SU INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
1958	Vanguard I	0,1 W
1962	Telstar	14 W
1964	Nimbus	470 W
1966	Observatorio Astronómico Espacial	1 KW
1973	Skylab	20 KW

Tabla I.1 descripción de año, satélite y consumos de la nasa

I.1.3 Aplicación de los paneles solares fotovoltaicos en actividades terrestres.

Pese al gran éxito de la tecnología fotovoltaica en el espacio, el costo de los paneles solares seguía siendo demasiado alto para hacerlo competitivo en aplicaciones terrestres.

Esta situación cambió cuando a principios de los años 70 el Dr. Elliot Berman con la ayuda financiera de EXXON consiguió crear una célula solar mucho más barata que reducía el coste por vatio de 100 \$ a 20\$. Para ello empleo un silicio con un grado de pureza menor y unos materiales encapsulantes más baratos.

Esta importante rebaja de los costos cambio totalmente la situación e hizo posible que el empleo de paneles fotovoltaicos empezara a ser económicamente viable en instalaciones aisladas de la red eléctrica. Empezó a resultar más barato instalar células solares que trazar toda una línea de cableado o que realizar un mantenimiento periódico que cambiase las baterías gastadas por otras cargadas.

Las aplicaciones prácticas de la energía solar fotovoltaica empezaron entonces a multiplicarse: electricidad para la protección contra la corrosión de oleoductos y gaseoductos, iluminación de boyas marinas y faros, repetidores de sistemas de telecomunicaciones, sistemas de iluminación en líneas férreas. Para todas estas finalidades, la instalación de paneles solares resultaba mucho más rentable económicamente y más eficiente en su labor.

Tal fue el impulso que esta tecnología recibió que en el año 1975 las aplicaciones terrestres habían ya superado a las espaciales.

Poco a poco, en las siguientes décadas, se fueron encontrando nuevas aplicaciones para la energía solar fotovoltaica que siguieron desarrollando el uso de esta tecnología.

En los años 70 del S XX, surgió la idea de potenciar las bombas de extracción de agua con paneles solares. De esta manera se hacía viable la obtención de agua de acuíferos en zonas rurales sin acceso a la electricidad. Esta aplicación se ha extendido enormemente por todo el mundo desde entonces, incluso en zonas electrificadas, y ha sido especialmente beneficioso en las zonas empobrecidas del planeta.

En la década de los 80 surgieron con fuerza las iniciativas para electrificar las sociedades de los países empobrecidos. En estas sociedades la electrificación no podía basarse en el modelo energético usado de los países enriquecidos de grandes centrales y un sistema de distribución. Resultaba excesivamente costoso instalar toda una red eléctrica en unas sociedades en las que gran parte de la población estaba distribuida de manera muy dispersa en asentamientos rurales. Por estas razones se optó por sistemas de generación eléctrica en el mismo lugar de consumo y entre ellos por los paneles solares fotovoltaicos.

Los paneles solares ofrecían grandes ventajas frente a otras opciones empleadas como los generadores de queroseno. Una vez comprado el panel ya no era necesario la adquisición cada poco tiempo de combustible para hacerlo funcionar lo que suponía un menor grado dependencia del exterior (las baterías seguía siendo necesario importarlas). Por otro lado buena parte de las sociedades empobrecidas del planeta se encuentran en zonas tropicales y subtropicales con abundante y potente sol lo que facilita y favorece el empleo de la energía solar. Además los paneles se adaptan muy bien a unas demandas energéticas reducidas que se tiene en estas sociedades. Numerosos han sido los proyectos que se han llevado a cabo (y que se siguen llevando) en este sentido y muchas son las familias que disfrutan de electricidad solar en varios países empobrecidos del mundo

También a partir de los años 80 aparecen las primeras casas con electrificación fotovoltaica en los países desarrollados. Este concepto propone establecer un sistema de provisión de energía

descentralizado en el que cada hogar se genera su propia energía en vez de establecer una gran central y un sistema de distribución de la misma.

I.1.4 La energía solar fotovoltaica en los últimos años

En la década de los 90 y en los primeros años del S XXI las células fotovoltaicas han experimentado un continuo descenso en su coste junto con una ligera mejora de su eficiencia. Estos factores unidos al apoyo por parte de algunos gobiernos hacia esta tecnología han provocado un espectacular impulso de la electricidad solar en los últimos años (figura I.1).

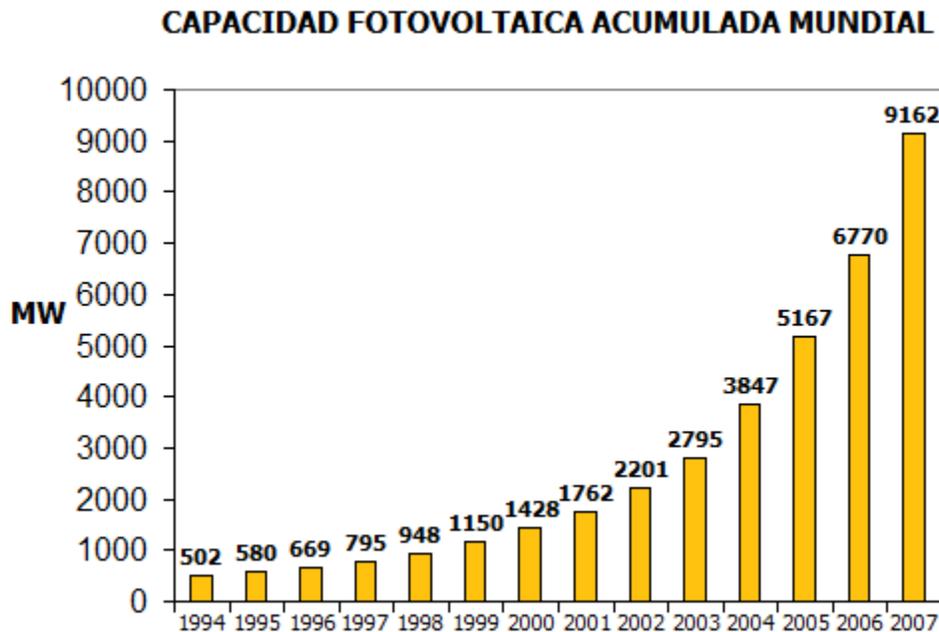


Figura I.1 crecimiento en la generación eléctrica solar

Entre las medidas de apoyo al sector llevadas a cabo por algunos gobiernos, destacan las leyes de primas que obligan a las compañías de luz a comprar la electricidad fotovoltaica a una tarifa mucho más alta que la de la venta, lo que ayuda a rentabilizar la instalación en un periodo de tiempo pequeño. Esta medida se ha aplicado en España y Alemania, entre otros países, con un enorme éxito propiciando un importante despegue de este tipo de tecnología. Además las instalaciones de equipo fotovoltaico han contado con muchas subvenciones en diversos países y administraciones que financiaban una parte importante de los costos facilitando su adquisición.

El concepto de huerta solar también ha tenido un importante éxito. La huerta solar es la asociación de varios inversores en paneles solares que forman una central generadora de

energía compartiendo un mismo terreno y los diversos gastos (vigilancia, mantenimiento, conexión a la red, equipamiento etc...). Normalmente se llevan a cabo en países que subvencionan las tarifas de venta de este tipo de energía. Este concepto ha animado a muchos inversores que han visto en ella una fuente de ingreso fija y fiable invirtiéndole importantes cantidades de dinero en la generación eléctrica solar.

En los últimos años, con la aparición de la tecnología de los paneles flexibles a precios asequibles, han proliferado también los gadgets solares destinados a recargar las baterías de numerosos artículos portátiles (teléfonos portátiles, cámaras de fotos, reproductores portátiles de música etc...) así como kits solares para electrificar las caravanas o barcos.

Ha sido tanta la expansión que ha tenido este sector que, en determinados momentos, incluso los fabricantes se han visto imposibilitados de aumentar su producción acorde a la demanda por escasear el silicio apto para los paneles solares.

La energía solar fotovoltaica es aún la forma de energía renovable más cara de cuantas se encuentran en el mercado pero dada la dinámica en la que se encuentra empieza a ser una certeza de que en pocos años podrá competir con el resto de recursos energéticos en general.

I.1.5 Sistemas fotovoltaicos para casas particulares

La energía solar lleva usándose por la humanidad de forma directa e indirecta desde prácticamente siempre. Las viviendas siempre habían sido diseñadas de tal forma que aprovechen o minimicen el impacto del sol ya sea para evitar el calentamiento excesivo o para aprovechar al máximo la incisión del sol en ellas.

Antes, mucho antes de que las energías renovables llamaran la atención de los medios de comunicación de masas, de que las instituciones comenzaran a fomentar su uso y la ciudadanía tomara conciencia sobre su importancia, en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) construyeron un edificio avanzado a su tiempo que con el paso de los años ha sido reconocido internacionalmente como un pionero en su campo: la Casa Solar #1.

Completada en 1939, fue la primera vivienda de América que obtenía toda la energía que precisaba del Sol. La planta baja estaba dividida en 2 habitaciones mientras que en el sótano había un gran depósito del tamaño de una piscina en el que se almacenaba el agua que el astro rey iba calentando, de manera que sus ocupantes podían resguardarse sin problemas incluso en los fríos y ventosos días de invierno de Cambridge (Massachussets), la localidad en que se levantó

Un sistema fotovoltaico es una inversión que durará en el tiempo y le permitirá ahorrar, produciendo directamente energía eléctrica para cubrir sus necesidades.

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos por un conjunto de elementos que permiten obtener, a partir de la energía eléctrica. El elemento principal del sistema es el módulo fotovoltaico o conjunto de módulos conectados entre sí que capta la energía del sol y la transforma en corriente directa.

También otros componentes entran en acción como es la radiación solar que sin ella no se podría hacer nada, las baterías ya que nos ayudan a almacenar la energía para ocuparla por las noches, un inversor que convierta la energía de directa a alterna para poder seguir utilizando nuestros aparatos comunes, cables y otros componentes que nos sirven para que todo funciones como debe de ser. En las próximas hojas trataremos de explicar con mas detalle cada uno de estos elementos para un mejor entendimiento.

I.2 LA RADIACION SOLAR

La luz, no importa su origen (solar, foco incandescente o fluorescente) es el resultado de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia. La parte visible de la luz solar está contenida dentro de un determinado grupo de frecuencias, al que se lo denomina **espectro visible** (Figura I.2). La distinta tonalidad de blanco que se observa para la luz emitida por un foco incandescente, un tubo fluorescente o la luz solar obedece a que el espectro visible no es el mismo para esas tres fuentes luminosas, el espectro de la luz solar varía constantemente.

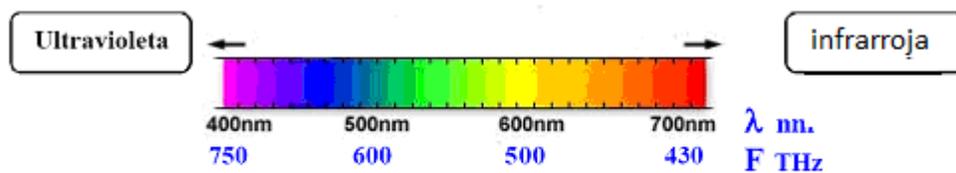


Figura I.2- Longitud de onda y frecuencia (espectro visible)

La manera de presentar un espectro es usar un sistema cartesiano (dos ejes a 90°), donde el eje horizontal muestra las longitudes de onda que lo integran, y el eje vertical la cantidad porcentual de la energía máxima que corresponde a una dada longitud de onda.

$$l = c / f$$

Donde c es una **constante** universal (la velocidad de propagación de la luz en el vacío). Esta expresión establece una relación inversa entre los valores de la longitud de

onda y la frecuencia, ya que el valor de λ se **incrementa** cuando el de la frecuencia **disminuye** y viceversa. Las frecuencias más altas en la Figura I.2 corresponden al color violeta; las más bajas al rojo. El rango de frecuencias visibles corresponde al orden de los THz (Tera hertz).

Nota: La radiación de calor (no visible) corresponde a la radiación **infrarroja** (por debajo de la frecuencia del rojo). La radiación (no visible) del violeta corresponden a la radiación **ultravioleta** (por encima de la frecuencia del violeta).

Debo hacer notar que el espectro solar ilustrado en la Figura I.3 está **restringido al rango visible** de la luz solar y corresponde al de un sol que ha alcanzado el zenit (posición más alta sobre el horizonte), con un cielo sin nubes.

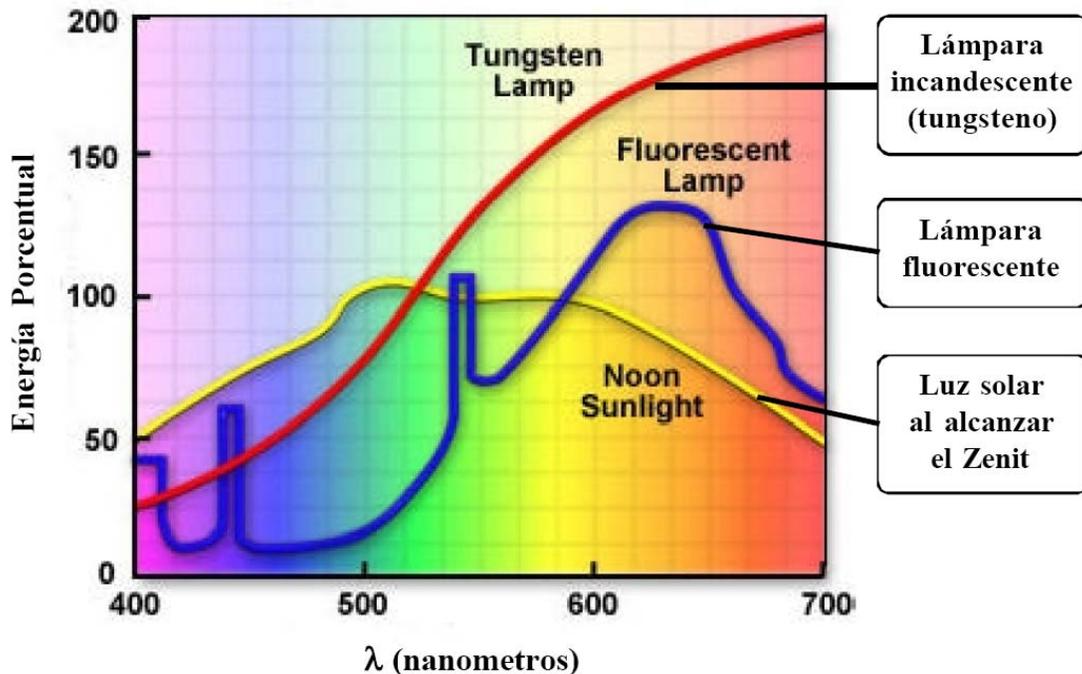


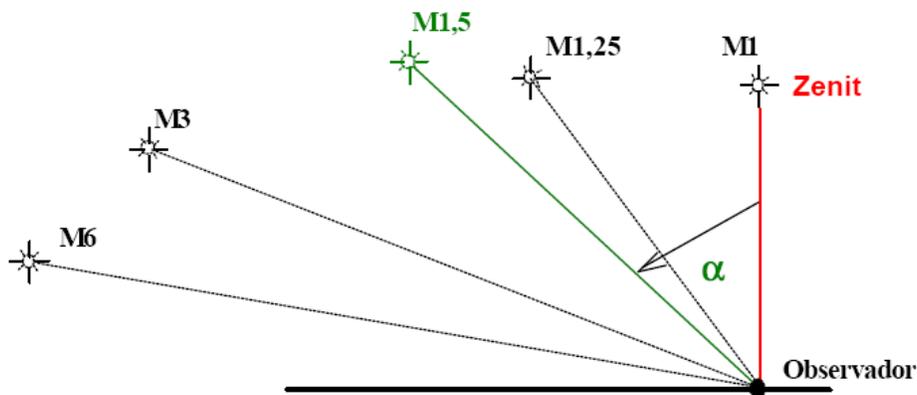
Figura I.3.- Diferentes espectros luminosos

Cuando la luz solar atraviesa la atmósfera, su espectro se ve alterado por la absorción, reflexión y dispersión de los rayos solares que toma lugar debido al choque de los fotones con minúsculas partículas en suspensión, o átomos de diferentes gases, así como

de agua (nubes). La luz del sol para un día nublado tiene menos energía pues algunas frecuencias han sido atenuadas o absorbidas. Este mecanismo se intensifica cuando los rayos solares deben atravesar mayores distancias, y explica el cambio tonal de la luz solar durante su recorrido diurno.

I.2.1.- Masa de aire (M)

Este término define, indirectamente, la distancia entre la altura del sol respecto al horizonte y un observador fijo sobre la Tierra. Cuando el sol ha alcanzado el zenit, la distancia entre el observador y el sol es mínima, ya que los rayos solares caen formando un ángulo de 90° respecto al horizonte. Cuando el sol está más cercano al horizonte, la masa de aire (**M**) crece, y la distancia que deben atravesar los rayos para alcanzar la posición del observador se incrementa. La Figura I.4 ilustra este concepto.



NOTA: Las distancias no están en escala

Figura I.4 Masa de aire

A la posición del zenit se le asigna, como referencia, una masa de aire unitaria (**M1**). Para cualquier otra distancia la masa de aire estará dada por la expresión:

$$\text{Masa de Aire} = 1 / \cos\alpha$$

donde α es el ángulo formado entre la posición de zenit y la posición del sol en el momento de la observación. Dado que el valor del coseno de un ángulo varía entre 1 y 0 cuando el ángulo varía entre 0 y 90° , cuando el valor de α crece, el valor de su coseno

disminuye, siendo siempre menor que la unidad. La inversa de ese valor ($1/\cos\alpha$) representa un valor que crece entre 1 e infinito.

Si se conoce la masa de aire, el ángulo α puede ser calculado de la expresión anterior, obteniéndose que:

$$\cos\alpha = 1 / \text{Masa de Aire}$$

y

$$\alpha = \text{arc cos (1/M)}$$

donde arc cos es el valor del ángulo cuyo coseno es el valor entre paréntesis.

Se deduce así que una masa de aire de valor 1,5 corresponde a un ángulo cuyo coseno tiene un valor de 0,6666, o sea unos 48° . Los valores correspondientes a los ángulos (+/-) α tienen el mismo valor, ya que $\cos \alpha = \cos -\alpha$.

El valor **M0** está reservado para el espectro luminoso fuera de la atmósfera y no puede ser derivado de la expresión.

La fuente luminosa usada para medir la potencia máxima de salida de un panel fotovoltaico tiene un espectro luminoso correspondiente a M1.5.

Este valor es uno de los parámetros de medición que han sido adoptados como estándar para evaluar la potencia eléctrica máxima (pico) de salida de un panel FV.

I.2.2 Irradiación

Irradiación es el valor de la **potencia** luminosa (energía/unidad de tiempo) que recibe una superficie de 1m^2 en un determinado instante. Cuando la masa de aire es de 1,5 la potencia de la radiación solar es de **1 KW/m²** (cielo claro). Este valor, conocido con el nombre de **SOL**, es otro de los parámetros de medición que han sido estandarizados para evaluar la potencia de salida máxima de un panel. Recordando que $1\text{m}^2 = 10.000\text{cm}^2$, y que $1\text{KW} = 1.000\text{W}$, se tiene que:

$$1\text{ SOL} = 1\text{ KW/m}^2 = 100\text{ miliwatts/cm}^2$$

Las dos cantidades son usadas, indistintamente, en las especificaciones de paneles Fotovoltaicos.

Términos usados en el diseño

Insolación.

La cantidad de **energía solar** (directa y reflejada) que se recibe durante la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de 1m^2 , recibe el nombre de **insolación**.

El término deriva de la palabra inglesa *insolation*, la que, a su vez, representa un acrónimo derivado de tres palabras del mismo idioma: *incident solar radiation* (radiación solar incidente).

Se usan diferentes unidades para expresar el valor de la insolación de un lugar. La más conveniente para nuestra aplicación es el **Kilowatt.hora por metro cuadrado** (KWh/m^2), o su valor equivalente en **miliwatt-hora por centímetro cuadrado** (mWh/cm^2). Si la energía del sol se utilizare para calentar agua, resultará más conveniente usar como unidad para el diseño las calorías por metro cuadrado (Cal/m^2) o los Btu/f^2 (British thermal unit por pie cuadrado).

La especificación de un panel FV nos da el valor máximo de potencia que **éste puede generar, pero la duración de la luz solar varía día a día y momento a momento, dificultando el cálculo de la energía diaria (potencia por tiempo) que puede generarse.**

Este obstáculo puede solucionarse si la duración del día solar se reduce a un **valor promedio** fijo que contemple las variaciones en el valor de la insolación para esa locación y estación del año.

Por definición, un valor promedio debe ser obtenido llevando a cabo mediciones en ese lugar durante un **largo período de tiempo**. Esta última condición asegura que no habrá distorsiones cuando se midan variaciones estacionales desúsales para un determinado año. Un período **mínimo** de diez (10) años de mediciones diarias de la insolación es necesarios para generar un valor confiable, que posteriormente puede ser actualizado cuando la acumulación de mediciones posteriores indique que el promedio anterior necesita una corrección. Dado que es imposible medir todos los puntos en la Tierra, existen programas que calculan el valor **promedio** para zonas ubicadas entre locaciones donde se realizaron medidas.

Día solar

El **Día Solar (DS)** representa el valor promedio de horas, *del total de horas entre el amanecer y el anochecer*, durante el cual un sol “*equivalente*” (con radiación constante de 1 SOL) es capaz de generar la **misma** cantidad de energía que el sol verdadero entrega, en promedio, en esa locación, para esa época del año.

Como ejemplo, supongamos que en una locación el valor de insolación estacional **promedio** es de 5 KWh/m²/día. Desde el punto de vista **energético** (potencia por tiempo) podemos asumir un DS de 5horas, con una irradiación constante de 1KW/m², ya que el producto 5hrs/día x 1KW/m² representa el mismo valor energético de insolación.

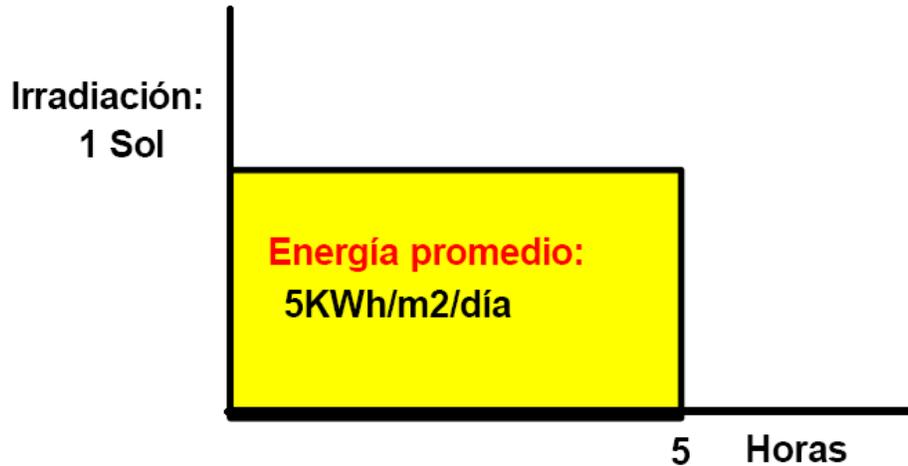


Figura I.5 Día solar de 5 horas

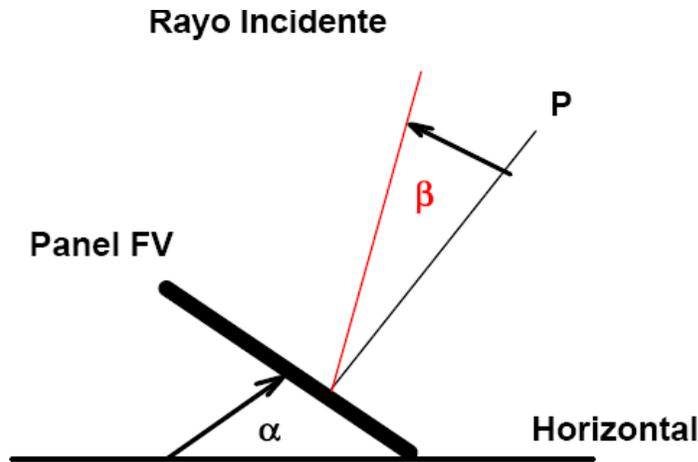
La Figura I.5 ilustra, en forma gráfica, el significado de esta equivalencia. La superficie del rectángulo representa la energía solar promedio medida.

Los valores de insolación promedio, para una dada locación, se obtienen usando colectores fijos con varios ángulos de inclinación (Figura I.6) para la superficie colectora: horizontal (0°), latitud del lugar menos 15°, latitud, más 15°, y vertical (90°). Estos datos son complementados con mediciones tomadas usando superficies colectoras móviles, las que son montadas en aparatos que, automáticamente, siguen la trayectoria del sol.

La información proporciona, asimismo, valores de insolación máxima y mínima registrados mensualmente en esa zona, así como datos meteorológicos: temperaturas máxima y mínima para el lugar, porcentaje de humedad relativa, y velocidad promedio del viento.

Un dato importante, el de los *días consecutivos sin sol*, no forma parte de la información, a pesar de su importancia para el cálculo del tamaño del banco de baterías, como veremos más adelante.

El ángulo de inclinación (α) es el formado entre la superficie colectora y la horizontal del lugar (Figura I.6). Para un dado valor del ángulo de inclinación, dependiendo de la posición del sol sobre el horizonte, existirá un valor para el ángulo de incidencia (β) que forma la perpendicular a la superficie de colección con los rayos incidentes.



α Angulo de inclinación

β Angulo de incidencia

P Perpendicular a la superficie del panel

Figura I.6 Angulo de inclinación y de incidencia

La energía a colectarse aumenta cuando β es cero (rayos incidentes perpendiculares al panel). En la práctica es imposible alcanzar este valor, durante todo el año, usando *un panel fijo*. Si asumimos que el ángulo de incidencia de la Figura I.6 corresponde a la posición del zenit para una de las estaciones extremas (invierno o verano), el valor de β puede hacerse cero alterando la inclinación del panel. Esta proposición no es muy práctica en la mayoría de los casos.

Es preferible dar al ángulo de inclinación (α) un valor **igual al de la latitud del lugar más 15°** (posición favorable para el invierno) y aceptar una pequeña pérdida energética durante el verano.

Otro aspecto que debe tenerse en consideración es que, dependiendo de la latitud en donde tu vivas, la diferencia estacional en la altura del sol al alcanzar el zenit puede ofrecer cambios substanciales o mínimos, de manera que la necesidad de ajustar el ángulo de inclinación del panel puede no requerirse, o ser necesaria sólo dos veces al año.

Un ejemplo de ajuste nulo se tiene cuando los paneles son instalados en zonas cercanas a los polos, como ocurre en el norte de los países escandinavos, o en la Antártida. Para estas instalaciones un ángulo fijo (cercanos a la vertical) es suficiente, dado que la altura del sol no cambia substancialmente durante el verano polar.

I.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema FV (fotovoltaico) es el resultado de la integración de varios bloques funcionales, con el fin de suplir, diariamente, la energía eléctrica requerida por la carga (consumo).

Esta definición es la misma que corresponde al servicio domiciliario de un sistema generador tradicional. La diferencia fundamental es que en un sistema FV el “combustible” es la energía solar. Por ahora es importante destacar dos conceptos que están implícitos en la definición:

- La carga eléctrica determina que bloques funcionales deben formar parte del sistema.
- Diariamente, el sistema deberá mantener un balance energético entre la cantidad generada y la consumida. Al analizar el diseño veremos que el costo del sistema se incrementa cuando el balance energético debe mantenerse durante períodos de insolación baja o nula.

Dos valores, variables de sistema a sistema, determinan el valor de una carga eléctrica: el tipo y el régimen de carga.

Existen tres tipos de carga (consumo): corriente continua (CC), corriente alterna (CA) o mixta (CC y CA).

La **corriente continua** (CC en español, en inglés DC, de *Direct Current*) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Aunque comúnmente se identifica la corriente continúa con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería), es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad.

La **corriente alterna** (abreviada **CA** en español y **AC** en inglés, de *Alternating Current*) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda sinusoidal, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía. Sin embargo, en ciertas aplicaciones se utilizan otras formas de onda periódicas, tales como la triangular o la cuadrada, es la que pasa de positiva a negativo en repetidas ocasiones (hertzio).

Utilizada genéricamente, la CA se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas. Sin embargo, las señales de audio y de radio transmitidas por los cables eléctricos, son también ejemplos de corriente alterna. En estos usos, el fin más importante suele ser la transmisión y recuperación de la información codificada (o modulada) sobre la señal de la CA.

El régimen de carga estará definido cuando se conozcan los valores de tres variables:

- La cantidad de energía que la carga requiere por día.
- El período del día durante el cual se usará esa energía.
- El valor máximo (pico) que alcance el consumo.

La cantidad de energía, medida en Wh/día ó KWh/día, dependiendo del consumo, estará determinada por la cantidad y tipo de aparatos a conectarse, así como también de las horas diarias en que permanezcan activos.

La energía a generarse (acumularse) depende del período de consumo, el que puede ser:

- Diurno, el que no requiere un bloque de acumulación.
- Nocturno, el que requiere un bloque de acumulación.
- Continuo, día y noche, el que también requiere un bloque de acumulación.

El bombeo de agua, el que se lleva a cabo durante el día, es un ejemplo de consumo diurno. Otra aplicación diurna es un sistema FV doméstico que está permanentemente conectado a la red domiciliaria. Estos sistemas son muy populares en Europa y los EEUU, donde existen leyes que les permiten a sus dueños vender el exceso de generación a la compañía proveedora de electricidad. La contabilidad energética es instantánea ya que se usan medidores que giran en ambas direcciones. El beneficio es mutuo; la compañía ahorra el costo de expansión del sistema generador, el consumidor abarata el costo de su suministro.

En lugares donde no existe una red eléctrica, el consumo diario suele ser nocturno. Estos sistemas generan, durante el día, la energía eléctrica que será utilizada durante parte de la noche para iluminar habitaciones y para recreación (televisión y radio). Una boya marina ó una cartelera iluminada al borde de un camino, son otros ejemplos de consumos nocturnos.

Si un sistema FV debe abastecer un transmisor telefónico en un lugar remoto, o una refrigeradora eléctrica, el régimen de uso será continuo, ya que deberá proveer energía durante las 24 horas del día.

Por último, el diseñador debe analizar si el régimen de carga requiere una potencia constante, o si existen demandas temporarias donde varias cargas eléctricas deben ser alimentadas al mismo tiempo, durante un período de tiempo. Esta última característica (consumo pico), si no puede ser evitada, deberá ser satisfecha o el sistema tendrá un déficit energético.

Nota: Más adelante introduciremos otra variación de consumo instantánea: el transitorio de línea.

El más básico de los sistemas FVs es el de régimen diurno, donde no se requiere un banco de baterías de reserva. Sin embargo, una aplicación muy popular es la instalación de un sistema FV nocturno con cargas de CC y por ello comenzaré con la descripción de un sistema de este tipo.

La Figura I.7 ilustra los bloques funcionales que integran este tipo de sistema, así como los componentes usados comúnmente en cada bloque funcional

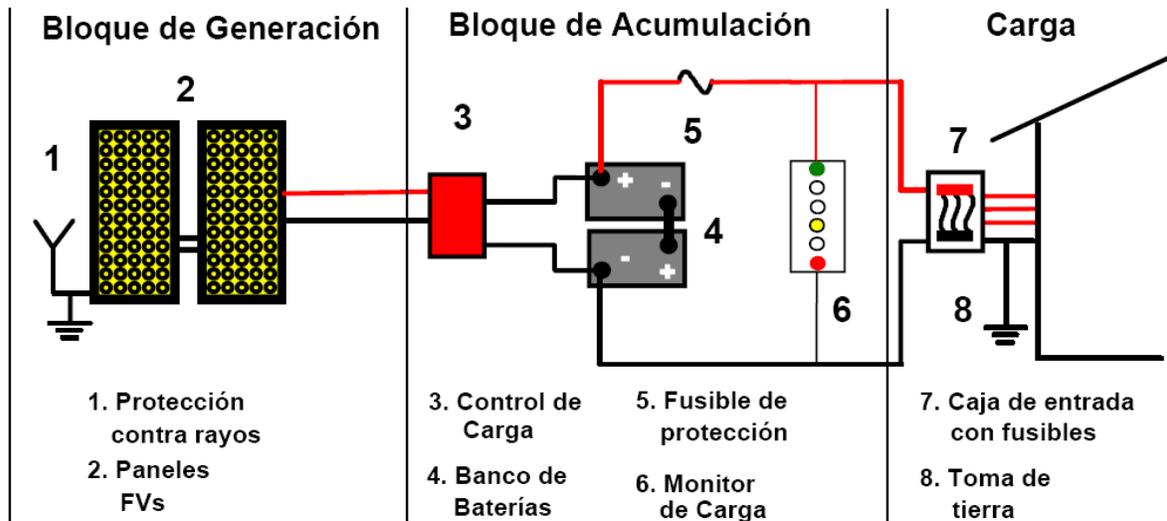


Figura I.7 Sistema FV nocturno

El análisis que haré en este apartado es del tipo cualitativo, ya que el propósito es introducir las ideas fundamentales asociadas con cada bloque en el sistema. Debo destacar que un bloque que no es obvio es el Cableado de interconexión, el que está distribuido en todo el sistema.

Los paneles FVs forman este bloque. El número de ellos dependerá de varios factores. Entre ellos, los más obvios, son:

- El valor promedio de la insolación del lugar (DS).
- La carga (régimen y tipo).
- La máxima potencia nominal de salida del panel seleccionado.

Los paneles deben tener una efectiva protección contra rayos, como veremos en detalle al hablar de la instalación del sistema. El bloque de generación actúa como un generador de CC, ya que un panel FV sólo genera voltaje de este tipo.

Cuando un tipo de energía (luz solar) se transforma en otro tipo (energía eléctrica) la transformación no puede llevarse a cabo sin que ocurran pérdidas. Al estudiar las baterías de acumulación, donde la energía química se transforma en eléctrica durante la descarga y la eléctrica en química durante la carga, veremos que ambas transformaciones de energía se llevan a cabo con pérdidas.

Como las pérdidas son siempre parte de una transformación energética, sólo un porcentaje de la energía luminosa recibida se convertirá en energía eléctrica, de la cual sólo un porcentaje podrá ser acumulado como energía química en las baterías.

De la energía acumulada, sólo un porcentaje podrá ser transferido a la carga como energía eléctrica, donde sólo un porcentaje se transforma en energía útil.

A estas pérdidas de transformación deben sumarse las pérdidas de energía transformada en calor en los cables de conexión y en los componentes que integran el sistema. Este párrafo aparece como desalentador, pero el usuario debe tener presente que un sistema de electricidad está afectada por pérdidas similares.

Nota: Es evidente entonces que el diseñador deberá estimar las pérdidas del sistema y agregarlas a la parte generadora, a fin de no perder el balance entre generación y consumo.

El bloque de Acumulación contiene tres componentes: el control de carga, el banco de baterías, y el fusible de protección. El monitor de carga, como veremos a continuación, puede formar parte del control de carga o convertirse en un componente adicional.

Nota: Un sistema diurno, a pesar de no tener un bloque de acumulación, tiene un control entre los paneles y la carga, pero los requerimientos de diseño son diferentes,

El control de carga usado en el sistema nocturno de la Figura I.7 cumple varias funciones:

- Evita la descarga de las baterías a través de los paneles durante la noche, cuando el voltaje de salida del panel FV es nulo.

- Evita la sobrecarga de las baterías, lo que acorta la vida útil de las mismas.
- Provee el régimen de carga más apropiado para un dado tipo de acumulador.
- Mantiene abierto el circuito de carga si el voltaje de salida de los paneles es menor que el del banco de acumulación.
- Provee funciones auxiliares, como la del monitoreo del nivel de carga del banco de reserva y otras que son opcionales.

El banco de baterías usa un tipo especial de batería llamada batería solar. Estas baterías se ofrecen en versiones de 6 y 12V. Una batería solar es una batería diseñada para soportar niveles de descarga profundos durante muchos ciclos de carga y descarga. El diagrama de la Figura I.7 muestra dos baterías de 6V conectadas en serie, en un sistema de 12V nominales.

El fusible de baterías es incorporado al sistema como un elemento de seguridad. Aún cuando el banco consista de una sola unidad, un cortocircuito accidental entre los bornes de salida hará que la corriente que circula por la batería alcance valores de miles de amperes, por varios segundos. Este altísimo valor de corriente acelera la reacción química y la disipación de calor dentro de la unidad, la que varía con el cuadrado del valor de la corriente. Los gases generados no podrán escapar en su totalidad, llegando a producir una violenta explosión. Como las baterías utilizan electrolitos altamente corrosivos, las consecuencias pueden ser trágicas.

Cortocircuitos que no terminan en explosiones acortan la vida útil de las baterías y pueden dañar, asimismo, la aislación de los cables de conexión (excesivas pérdidas de calor).

Nota: Si el control de carga no ofrece ninguna capacidad de monitoreo, no muy usual en la actualidad, tu deberás incorporar un componente que reforme esta función, ya que es imprescindible saber el estado de carga del banco de acumulación si se quiere extender la vida útil del mismo.

El bloque de Carga comprende los circuitos de entrada y alimentación dentro de la casa. La caja de fusibles hace posible la fragmentación del consumo, permitiendo el uso de cables de menor diámetro (y costo), los que son más fáciles de instalar. Otra ventaja es que se evita quedarse sin electricidad en toda la casa cuando se produce un desperfecto eléctrico en una zona de la misma. La conexión a tierra a la entrada de la carga es una norma de seguridad para los usuarios del sistema, así como una buena práctica de instalación para cualquier tipo de sistema.

El bloque de Cableado es considerado uno de los bloques básicos del sistema porque el dimensionamiento del mismo tiene un rol muy importante en la reducción de pérdidas por calor. Deberá recordarse que para un dado régimen de carga (Watts), la corriente disminuye cuando el voltaje del sistema se incrementa. En la práctica muchos de los aparatos de CC son fabricados para 12 V, de manera que este voltaje se ha convertido, por necesidad, en el más popular en sistemas con cargas de CC.

Cuando el consumo se incrementa, la corriente de carga también aumenta, necesiándose cables de mayor diámetro y costo, los que son más difíciles de conectar. Si se llega a esta condición, se necesita rehacer el diseño.

La selección del conductor a usarse debe ser hecha teniendo en cuenta varios factores. Los más importantes son: la capacidad del cable de manejar la corriente máxima que debe circular por el mismo, el tipo de aislación, el tipo de conductor (sólido o multi-alambre) y, por último, el material con que está hecho el conductor.

El costo de los paneles y las baterías en este tipo de sistema son los que más influyen en el costo de adquisición (costo inicial). La vida útil de los paneles excede los 20 años, de manera que el costo a largo plazo estará influenciado por el costo de reemplazo del banco de baterías. Para estimar este costo asuma una vida útil de diez (10) años, lo que implica que en veinte (20) años de uso deberá cambiar el banco de baterías al menos una vez.

Los diez (10) años estimados para la vida útil de las baterías sólo serán posibles si éstas no sufren excesivo abuso y el sistema ha sido diseñado correctamente.

La vida útil de los cables iguala a la de los paneles FVs, siempre que se tomen precauciones para evitar o disminuir la acción de la radiación ultravioleta en los cables a la intemperie, la que deteriora la cubierta aisladora. La acción destructiva de roedores y algunas especies de hormigas, o la selección incorrecta del cable conductor son factores que contribuyen, en muchas instalaciones, a acortar la vida útil de los conductores.

El resto de los componentes tienen, aproximadamente, la vida útil de los paneles. Muchos de estos componentes utilizan semi-conductores los que soportan una temperatura máxima de trabajo. Para alargar su vida útil siempre elija lugares con una temperatura ambiente cercana a la requerida por el fabricante, y permita la libre circulación del aire a su alrededor.

El costo inicial asociado con un sistema FV que reemplace el servicio que le brinda la red eléctrica local es muy alto para que resulte económico. Tenga presente que cuando tu instalas un sistema FV se convierte en el dueño de una pequeña planta eléctrica, teniendo que enfrentar los costos iniciales de materiales e instalación, así como los de mantenimiento.

La instalación de los sistemas diurnos mencionados al principio de este capítulo sólo resulta atractiva cuando se ofrece una compensación promocional que cubra entre el 15 y el 20% del costo inicial.

En la actualidad los sistemas FVs domésticos que resultan económicos son aquellos que se instalan en lugares remotos donde la posibilidad de una red de alimentación domiciliaria es prácticamente nula, o donde el costo de la extensión de una línea cercana es cercano al del sistema FV.

Para cerrar este capítulo de introducción a los sistemas FVs considero necesario comentar sobre actitudes erróneas tomadas por aquellos que instalan pequeños sistemas (uno a tres

paneles). Como estos sistemas son usados por personas de bajos recursos, existe la tentación de considerar como redundantes algunos de los componentes descritos en este trabajo, o sustituir un componente por otro que no es el adecuado.

Esta actitud resulta en una falsa economía que se traduce en sistemas con altos costos de mantenimiento y, en algunas circunstancias, peligrosos. Recuerde que estos sistemas son mas caros entre menos generen.

Irónicamente, en un sistema pequeño, debido a la falta de redundancia, el conocimiento del estado de carga de las baterías, así como la calidad de este componente, resultan ser *más críticos* que en un sistema con mayor reserva. Desde el punto de vista de la seguridad, el cortocircuito de una batería puede tener consecuencias desastrosas si ésta está ubicada dentro de la zona habitacional, sin protección alguna.

Cabe decir que se use el sentido común y evalúe cuidadosamente las consecuencias asociadas con la supresión o substitución de componentes. Espero que este trabajo ayude con sus comentarios a desarrollar la capacidad para diseñar un sistema económico, sin comprometer la seguridad o la vida útil del mismo.

I.3.1 LA CELULA FOTOVOLTAICA

La palabra fotovoltaico(a) (FV) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: foto que significa luz y el otro voltaico que significa eléctrico. El nombre resume la acción de estas células: transformar directamente la energía luminosa en energía eléctrica.

La transformación de la energía luminosa en eléctrica toma lugar en la naturaleza durante el proceso de fotosíntesis, pero desde el punto de vista práctico (menores pérdidas) sólo tiene valor comercial la que toma lugar dentro de un diodo semiconductor. Como el proceso de elaboración de estos diodos precede al de la manufactura de las células FVs.

Las células FVs son manufacturadas usando diferentes materiales y procesos para crear los diodos, ya que los fabricantes continúan explorando la manera de abaratar el costo o incrementar la eficiencia de conversión de las mismas.

Cuando la luz solar incidente tiene la energía y el espectro luminoso necesario para alterar el estado de equilibrio de la juntura N-P en estos diodos, se genera un exceso de cargas libres, las que pueden sostener una corriente, si se cierra el circuito externo.

Dado que el fenómeno FV toma lugar dentro de un semiconductor, se hace necesario entender que hace que un material sea un buen conductor, un buen aislante (no-conductor) y, por último, un semiconductor.

La corriente eléctrica, por definición, es la cantidad de cargas que circulan por unidad de tiempo. Cuando se aplica un voltaje entre los extremos de un material, se crea un campo eléctrico dentro del mismo. Los electrones ubicados en la órbita exterior del átomo de este

material, la más lejana del núcleo, estarán sometidos a una fuerza cuyo valor está dado por la expresión:

$$F=qxE$$

Donde q es el valor de la carga en (Coulombs) y E es el valor del campo eléctrico en V/m.
¿Qué determina la conducción o (no-conducción) en un material?

La respuesta es: la estructura atómica de la substancia.

En materiales conductores, como el cobre, el aluminio o el grafito, los electrones de la banda externa tienen mucha movilidad, ya que están saltando de átomo a átomo, aún a la temperatura ambiente.

Bajo la acción de un campo eléctrico (voltaje entre los extremos) la fuerza dada por la expresión 3 los pone en movimiento. El valor de la conductividad (inversa de la resistividad) es elevado en estos materiales.

En materiales aislantes, como el vidrio, el diamante o la porcelana, aún con elevados valores del campo eléctrico (altos voltajes) la fuerza que se ejerce sobre los electrones de la órbita externa no es suficiente para desplazarlos y establecer una corriente, ya que su movilidad es prácticamente nula.

Cuando el átomo de una substancia pierde un electrón, se transforma en una carga positiva. La pérdida de un electrón crea, en efecto, dos cargas dentro del material: una negativa (electrón libre) y otra positiva (resto del átomo).

En substancias como el germanio (Ge) y el silicio (Si) los electrones de la capa exterior de un átomo son compartidos por átomos adyacentes (Figura I.8) formando una estructura fija rígida (cristalina) en donde los electrones carecen de movilidad. Por eso el germanio y el silicio puro son substancias aislantes.

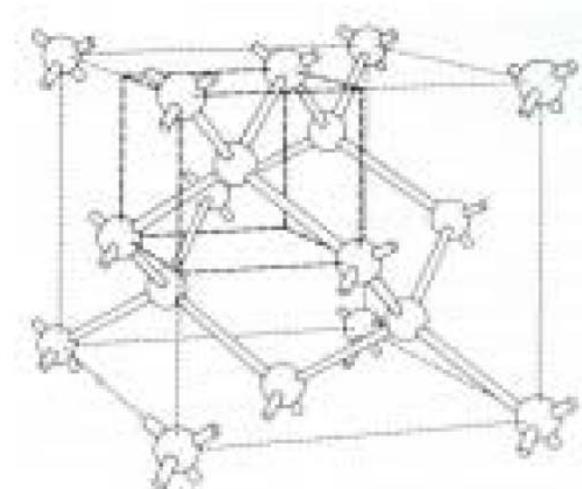


Figura I.8 Estructura cristalina

Si en un cristal de este tipo logramos incorporar átomos de otras sustancias, aún en proporciones muy pequeñas, la conductividad de estos materiales varía drásticamente, convirtiéndolos en semiconductores. Estos materiales tienen un valor de conductividad que los sitúan entre los aisladores y los conductores de corriente.

Si la sustancia que se introduce tiene la capacidad de ceder electrones, éstos se convierten en la carga mayoritaria en esa zona (semiconductor tipo N). Si, por el contrario, los átomos de la sustancia que se introduce son ávidos de electrones, la mayoría de los átomos en esta zona tendrán cargas positivas libres (tipo P). A estas cargas se las denominan hoyos (holes en inglés) ya que el electrón tomado deja un vacío (hoyo) en el átomo que lo cedió. A las sustancias que se usan para alterar la conductividad del cristal puro se las conocen como dopantes (dopants, en inglés).

El proceso de introducción de átomos que ceden o toman electrones, difusión, se ha convertido en un proceso robotizado, en donde los átomos de las sustancias dopantes se introducen usando cañones electrónicos que bombardean los cristales (proceso de implantación). La industria usa el cristal de silicio (Si) porque su comportamiento a altas temperaturas es superior al del germanio (Ge).

Quizá en el futuro haya células FVs hechas con diamantes, ya que se han descubierto varios procesos para fabricarlos en cantidad y a bajo precio, pero no se ha investigado como llevar adelante el proceso de difusión. Este material carbón es superior al silicio cuando la temperatura ambiente es elevada.

El proceso de difusión es repetitivo, de manera que pueden crearse zonas cuasi-conductoras, aisladoras o semiconductoras con diferentes cargas mayoritarias.

Esto permite crear dos zonas cuasi-conductoras en los extremos del diodo, las que sirven para anclar los conectores externos, así como dos zonas adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. La zona entre estas dos regiones se denomina juntura (junction en inglés).

La teoría muestra que las cargas mayoritarias (electrones de un lado y hoyos del otro) no permanecen inmóviles, desplazándose hacia la zona adyacente, donde la concentración es baja. Este desplazamiento de cargas (corrientes de desplazamiento) acumula cargas positivas en la zona N y negativas en la zona P, creando una diferencia de potencial en la juntura, la que establece un campo eléctrico (E). El proceso migratorio continúa hasta que se interrumpe cuando el valor del potencial alcanza lo que se denomina el nivel de Fermi para esa sustancia.

El campo eléctrico E (V/distancia) en esta zona tendrá un valor elevado, ya que la juntura tiene muy pequeño espesor,

La Figura I.9 muestra el estado de equilibrio para una juntura N-P.

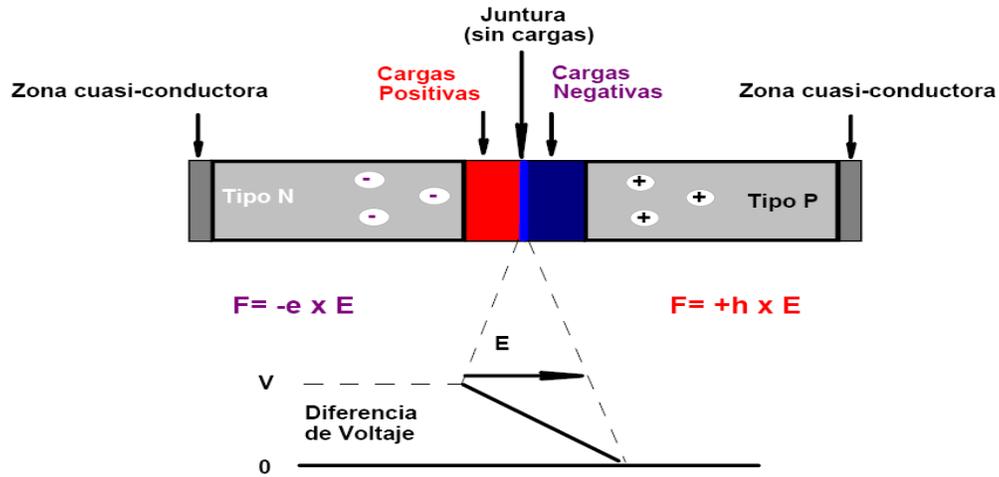


Figura I.9 Juntura N-P en Equilibrio

Cuando la luz solar que incide sobre la zona adyacente a la juntura tiene el espectro y nivel de energía requerido por el material (Si), el bombardeo de los fotones crea pares de cargas libres (Figura I.10), los que se mueven libremente.

Algunos de estos pares se recombinan (neutralizan) antes de migrar a la zona de juntura, pero un elevado porcentaje de electrones del lado P y de hoyos del lado N serán impulsados a través de la juntura. La dirección del campo eléctrico E (Figura I.9) hace que estas cargas no puedan volver, alterándose el estado de equilibrio.

Las cargas libres están listas para sostener una corriente cuando se conecten el lado N y P a una carga eléctrica externa.

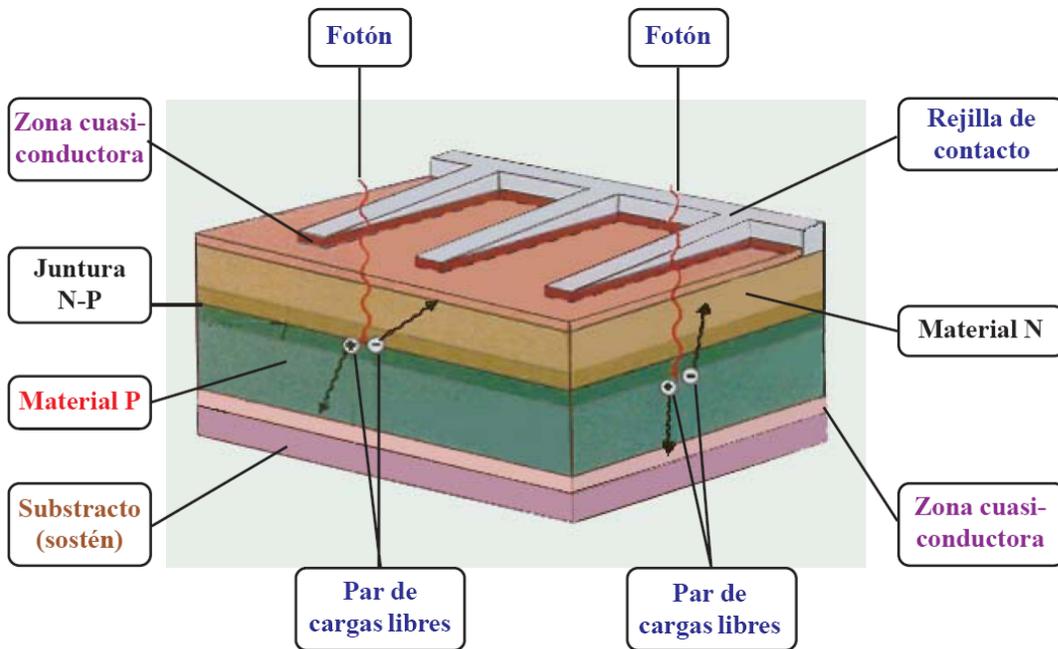


Figura I.10 Corte de una célula FV

La eficiencia de conversión (energía luminosa en eléctrica) está dada, en forma porcentual, por la expresión:

$$\% = (\text{Energía eléctrica de salida} / \text{Energía luminosa de entrada}) \times 100$$

Donde % es el valor de porcentaje de la eficiencia.

El mercado ofrece numerosos tipos de células FVs. Algunas gozan de más difusión que otras debido a que fueron introducidas hace largo tiempo atrás. Todas las células pertenecen a uno de los grupos mencionados a continuación:

- Mono-cristalinas.
- Poli-cristalinas.
- Amorfás.

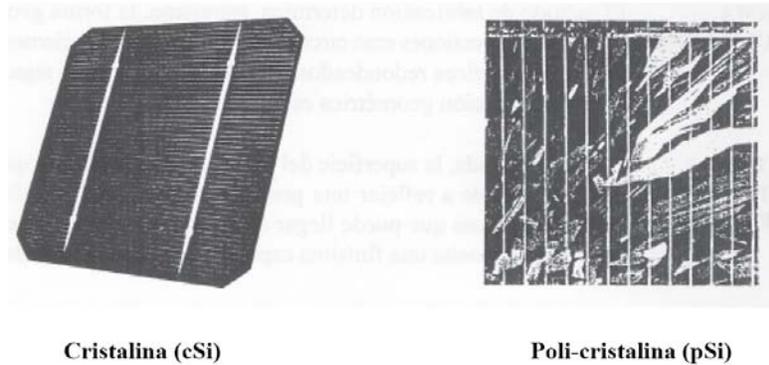
El orden dado es el mismo cuando se considera el costo o la eficiencia de conversión.

Las células de estructura mono-cristalina fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear las mismas técnicas usadas previamente en la fabricación de diodos y transistores. A este tipo de células, conocidas simplemente como cristalinas, se le asigna la abreviatura (cSi). El proceso de fabricación del cristal de silicio requiere un alto consumo de energía eléctrica, lo que eleva el costo de estas células, las que proporcionan los más altos valores de eficiencia. Recientemente, la compañía Sun-Power ha anunciado la introducción de una célula de cSi, sin rejilla de contacto frontal, la que tendría una eficiencia del 20% (máximo teórico: aprox. 25%).

La versión poli-cristalina (pSi) se obtiene fundiendo silicio de grado industrial, el que se vierte en moldes rectangulares, de sección cuadrada. Como el costo del material y el procesado se simplifican, las células amorfas alcanzan un valor intermedio entre las cristalinas y las amorfas. La eficiencia ha ido creciendo, llegando a ofrecerse (Kyocera) células de pSi con eficiencia de conversión del 15%, un valor reservado pocos años atrás para las células de cSi.

Las células de cSi se reconocen a simple vista, ya que su superficie es uniforme. Expuestas a la luz actúan como un espejo grisáceo. Las células poli-cristalinas reflejan la luz en forma no uniforme, pudiéndose observar las imperfecciones en el cristal. Tienen, asimismo, una coloración azulada.

La Figura I.11 ilustra estos dos tipos, ambos con rejilla frontal de conexión.



Cristalina (cSi)

Poli-cristalina (pSi)

Figura I.11 Célula FVs

El otro tipo corresponde a las células amorfas (a=sin; morfo=forma). Como su nombre lo indican estas células no poseen una estructura cristalina. Precisamente esa simplificación en la estructura conduce a un abaratamiento drástico de las mismas.

Es un hecho que cuando más se aleja la técnica de fabricación de una célula FV de la estructura cristalina pura, más defectos estructurales aparecerán en la sustancia semiconductor, los que aumentan el atrapa miento de las cargas libres, disminuyendo la eficiencia de conversión. Para reducir este efecto, el espesor del material activo en estas células es diez (10) veces menor que el de una célula de cSi.

Esto, a su vez, contribuye a bajar el costo.

Para compensar el bajo nivel de conversión los fabricantes adicionan junturas, las que responden a diferentes frecuencias del espectro luminoso. La compañía UNISOLAR apila tres junturas. La primera responde a la zona del azul, la segunda al verde y la tercera al rojo, la de menor energía en el espectro. Los depósitos activos se hacen sobre una lámina continua de acero inoxidable de bajo espesor que permite que las células sean flexibles. Si se requiere una estructura rígida se les agrega un marco metálico.

La compañía British Petroleum (BP) ofrece un modelo similar que usa dos capas convertoras en su línea Millennia™. La Figura I.12 muestra como las células de aSi pueden ser ofrecidas como paneles flexibles o rígidos.

**Figura I.12 Paneles hechos con células de aSi**

Estas pérdidas ocurren fuera del material semiconductor. Su mención y análisis ayudarán a entender algunos detalles auxiliares contenidos en las hojas de especificaciones. Consideraremos:

- La reflectancia de la superficie colectora.
- El “sombreado” de los contactos.

La superficie colectora de una célula de cSi actúa como un espejo, reflejando hasta el 30% de la luz incidente. Para disminuir la reflectancia, la superficie de colección recibe una capa antirreflexiva de monóxido de silicio (SiO), la que disminuye la reflectancia a un 10%. Una segunda capa baja la reflectancia a un 4%, pero incrementa el costo. La necesidad de una capa antirreflexiva se extiende a todo tipo de células, si bien el tratamiento es diferente.

El contacto ubicado sobre la superficie colectora utiliza una rejilla metálica, de trazos finos, la que contribuye a disminuir el área activa de la célula. A este problema se lo conoce como el “sombreado” de los contactos y no debe confundirse con el sombreado externo sobre el área colectora. Esta reducción, en células modernas, varía entre un 3 y un 5% de la superficie activa. Un fabricante ha anunciado la producción de células sin rejillas frontales (Sun Power).

El voltaje de juntura depende exclusivamente del material usado (nivel de Fermi para el cristal usado). Para las células de silicio este valor es de alrededor de 0,5 V. Como las cargas son impulsadas por un campo eléctrico fijo, el voltaje de una celda FV es de corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado positivo (lado P) y otro negativo (lado N), asumiendo que la corriente circula en sentido opuesto al de los electrones.

El valor de la corriente dependerá del valor de la carga, la irradiación solar, la superficie de la celda y el valor de su resistencia interna.

En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la célula FV está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida.

El método de fabricación determina, en gran parte, la forma geométrica de la célula FV. Las primeras versiones de cSi eran redondas, pues el cristal puro tenía una sección circular. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, o casi-cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°.

Las células de pSi son cuadradas porque el molde donde se vierte el semiconductor fundido tiene esta forma.

La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel FV, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células (Figura I.13).

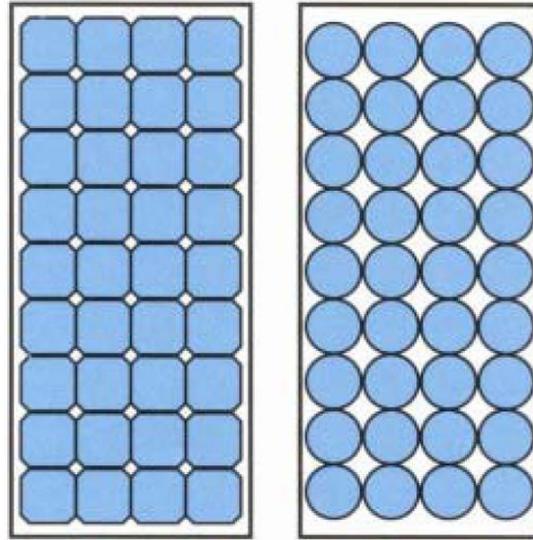
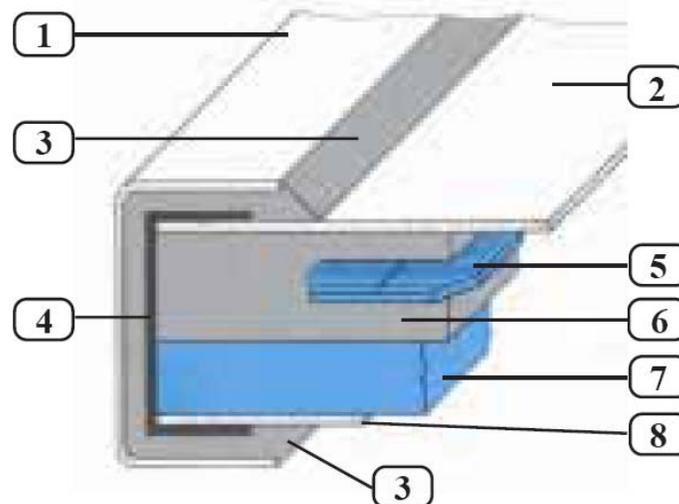


Figura I.13 Eficiencia de empaque

I.3.2 EL PANEL FOTOVOLTAICO

Debido a su fragilidad, las células FVs son vulnerables a la acción de los elementos naturales (lluvias, granizo, nieve, vientos, polvo, alta humedad, etc.). Esta característica, sumada a la necesidad de ofrecer un voltaje de salida práctico (superior al $\frac{1}{2}V$), hacen necesario el uso de una estructura mecánica rígida y hermética que pueda contener un elevado número de células. El panel fotovoltaico cumple con ambos requisitos, facilitando además el transporte de las unidades, el conexionado externo, y el montaje de la unidad a un sostén.

Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel FV. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos, como el uso de una estructura “sandwich” (Figura I.14), donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidas.



Nota: Dimensiones no están en escala

Figura I.14 Montaje típico de un panel FV

- 1) El marco del panel está hecho de aluminio anodizado, para evitar su oxidación. Su rigidez provee la presión necesaria para mantener juntas las partes que integran el “sandwich”. Los marcos tienen extensiones en ángulo recto, con perforaciones a lo largo del perímetro, las que facilitan su montaje a un sostén.
- 2) La superficie colectora tiene un vidrio templado o un plástico de alto impacto, con un alto valor de transmisividad para la luz incidente. Ambos materiales resisten severas granizadas y vientos portadores de arena o tierra. El uso del vidrio ofrece una acción auto- limpiante, ya que la suciedad tiende a adherirse menos a su superficie.
- 3) Un material esponjoso cumple con una doble función: proteger los bordes del vidrio y proveer un cierre hermético para el panel a lo largo del perímetro de la estructura. Todos los materiales expuestos a la luz solar son resistentes a la acción deteriorante de los rayos ultra-violetas.
- 4) La junta selladora colocada a lo largo del perímetro, contribuye a evitar la presencia de agua (humedad) dentro del panel, evitando que las conexiones internas se oxiden (mayor resistencia óhmica) o causen la apertura del contacto al semiconductor.
- 5) Las células FVs son cubiertas con un material encapsulante de alta transparencia. Es común el uso del acetato de etil-vinilo (EVA, en inglés), el que se aplica en capas muy finas que, al hornearse, se polimerizan solidificando la estructura.
- 6) Esta parte es un plástico protector para separar las capas de etil-vinílico, con el vidrio templado y el sostén rígido.
- 7) La rigidez del panel se incrementa con el uso de un sostén rígido ya sea de plástico o metálico, al que se conoce como sustrato.
- 8) La cara posterior del panel tiene una superficie de sostén, que en algunos modelos es plástica (Tedlar®) y en otros metálica (aluminio). La versión metálica mejora la disipación del calor al exterior, un factor muy importante, como veremos al tratar la potencia de salida de un panel FV.

La vida útil de un panel trabajando como generador depende de la construcción del mismo y no de la vida útil de las células FVs, ya que no se conoce el límite de la vida útil de un semiconductor.

Los paneles que usan láminas plásticas en la superficie colectora suelen perder hasta un 20% del valor inicial de transmisividad después de muchos años de uso (aprox. 20), mientras que los que usan vidrio templado pierden sólo un 5%, ya que este material resiste mejor la acción deteriorante ante de los rayos ultra-violetas.

La alta calidad de los paneles ofrecidos a la venta se refleja en las amplias garantías ofrecidas por los fabricantes (limitadas a un uso correcto) las que se extienden entre 20 y 25 años de uso.

La industria de baterías precedió a la de los sistemas FVs, de manera que la adopción de 12V para el voltaje de salida del panel era una opción práctica. Por otra parte, este valor no demanda la conexión de un número excesivo de células en serie.

La industria de aparatos electrodomésticos usados en vehículos recreacionales (RVs, en inglés) adoptó asimismo el valor de 12V, de manera que el usuario de un sistema FV con este voltaje podrá incorporar electrodomésticos de CC diseñados para vehículos recreacionales en su sistema FV domiciliario.

En principio, se necesitaría conectar un mínimo de 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12V. Los paneles comerciales contienen un mayor número de ellas (36 o más). La explicación se tendrá cuando se analice la curva I-V del panel.

La potencia máxima de salida (potencia pico) de un panel FV es, sin duda alguna, la característica eléctrica más importante del mismo. La implementación de un sistema FV doméstico requiere el uso de paneles con potencias de salidas entre 60 y 100 watts. El uso de paneles con baja potencia de salida (menor costo) no se justifica en muchos casos, ya que deberá usarse un mayor número de ellos.

La tendencia de la industria es ofrecer paneles con potencias de salida elevadas (60 W mínimo).

Ejemplos:

Compañía: BP

Modelo: BP4170 (170W/24V)

Tipo: cSi

Compañía: Kyocera

Modelo: KC167 (167W/12V)

Tipo: pSi.

Los paneles FVs que usan células de cSi son los más populares (60% del mercado). Los que usan células de pSi tienen un 35% del mercado. El resto corresponde a los paneles que usan material amorfo (aSi), los que, a pesar de su bajo costo, no alcanzan a competir con los dos tipos previamente mencionados ya que:

Tienen un bajo nivel de conversión (50% por debajo de los otros modelos).

Sufren variaciones importantes de la potencia de salida con el uso. El valor inicial sobrepasa el 15% del nominal, obligando a un sobre-diseño de varios componentes, encareciendo el sistema.

Se ofrecen escasos modelos con 12V nominales de salida.

Dada su flexibilidad, el uso de estos paneles está restringido a instalaciones FVs emplazadas sobre los techos de las casas en sistemas de generación diurna conectados al sistema de distribución (grid, en inglés). Este uso se refleja en el voltaje de salida de los modelos con altos valores de potencia pico, lo que facilita su conversión a 124V CA (estándar domiciliario).

La presentación de los datos es similar en ambos casos. La información genérica (tipo de célula FV, modelo, garantía, porcentaje de conversión, etc) precede a las especificaciones eléctricas y mecánicas para la unidad.

Para simplificar mi explicación elegiré el panel de Kyocera (KC70), haciendo hincapié en diferencias o similitudes entre éste, el BP375 o el BP380. Este ejercicio es importante, ya que desarrollará la capacidad de selección.

Kyocera especifica la potencia de salida con un valor que denominan típico. El significado se explica a continuación. Cuando un producto es fabricado en serie existen variaciones para métricas entre unidades. El valor típico de un parámetro representa el valor más probable, dentro de un estrecho margen de variación, para ese parámetro. Esto significa que si tu compras un panel Kyocera KC70, es casi seguro que la potencia pico de salida de ese panel será de 70W mínimo, si lo evalúa usando las mismas condiciones usadas por el fabricante.

Los valores óptimos para el voltaje (V_o) y la corriente de salida (I_o) para el KC70 (16,9V y 4,14A) son los que proporcionan el valor típico para la salida (69,9966W).

Este punto está situado en el comienzo de la zona de inflexión (“codo”) en la curva I-V (Figura I.15).

Nota: Las dos compañías usan una nota para asegurar que las condiciones de medida son las estándar:

Irradiación de un Sol (1KW/m²)

Masa de aire de 1,5.

Temperatura ambiente de 25°C,

Viento de 1m/s (3,6 Km/h; 2,25 mph).

Por ahora ignoraré las dimensiones, a fin de concentrar nuestra atención en los valores eléctricos. Dos de ellos, la tensión (voltaje) a circuito abierto (V_{ca}) y la corriente de cortocircuito (I_{cc}), se describen a continuación.

Todo generador tiene una curva típica para la potencia de salida en función I-V de la corriente de carga. El panel FV no escapa esta regla. La curva I-V de un panel FV proporciona, indirectamente, la relación mencionada, ya que asocia los valores de V e I para diferentes cargas. La potencia de salida para una dada condición de trabajo está dada por el producto de los valores de I y V correspondientes.

Dos variables afectan la potencia de salida: la cantidad de irradiación (W/m²) y la temperatura de trabajo del panel (°C). La variación debida al nivel de irradiación sirve para estimar la acción de nubes pasajeras o de cielo totalmente nublado. Tenga presente, al respecto, que estas curvas contemplan la irradiación total (directa y reflejada) que recibe el panel. En la práctica, dependiendo del terreno, o de reflejos de la luz por otras nubes, el nivel de salida puede incrementarse temporalmente, en lugar de decrecer.

Kyocera muestra estas dos variaciones por separado, mientras que BP omite la relacionada al nivel de irradiación. Esto no resulta ser un problema serio para los paneles de nuestro ejemplo, ya que todos usan células de pSi, lo que asegura un comportamiento similar.

La Figura I.15 muestra la curva I-V para el KC70 a 25°C. Esta curva es importante porque las especificaciones eléctricas se derivan de mediciones hechas a esa temperatura.

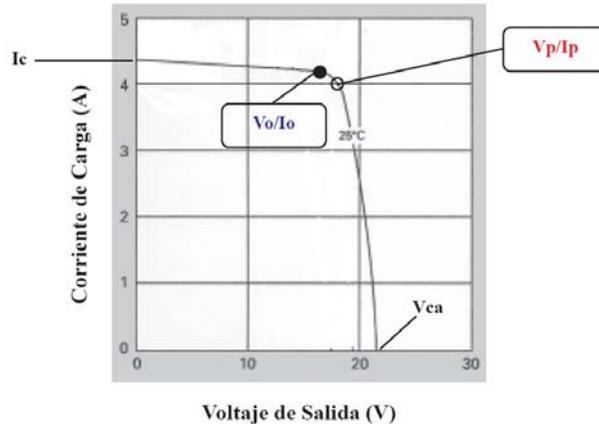


Figura I.15 Curva I-V para el panel KC70 a 25°C

Cuando el circuito exterior no está conectado (corriente nula), el voltaje de salida (V_{ca}) alcanza el valor máximo (Voltaje/tensión a circuito abierto). Este máximo de voltaje corresponde a una corriente nula.

Cuando el voltaje de salida es nulo (cortocircuito) la corriente de salida alcanza su valor máximo (I_{cc}). Para ambos puntos la potencia de salida es nula. Consecuentemente, un cortocircuito entre los terminales de salida del panel no dañará al mismo.

Entre estos dos valores, la potencia de salida alcanza el valor pico (W_p). Los valores de voltaje (V_p) y corriente (I_p) que generan el máximo a 25°C son llamados picos o máximos, dependiendo del fabricante. La Figura I.16 muestra las curvas I-V para tres temperaturas de trabajo.

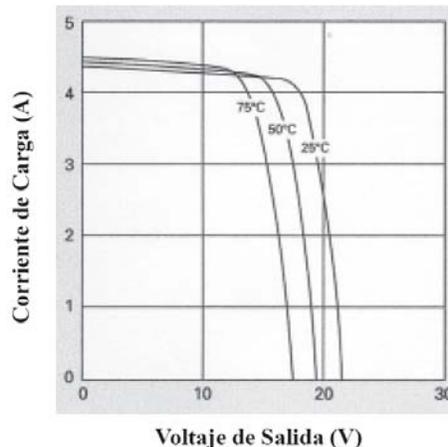


Figura I.16 Curva I-V vs. Temperatura

Se observa que cuando la temperatura de trabajo se incrementa, I_{cc} se incrementa levemente, mientras que V_{ca} disminuye sensiblemente. Como es importante que el panel sea capaz de mantener o incrementar la carga del banco de baterías cuando la temperatura de trabajo se eleva, se usan 36 (o más) células en serie por panel, en lugar de las 24 derivadas por cálculo.

Un elevado valor para V_{ca} a 25°C (más de 18V), garantiza que el voltaje de salida del bloque generador no cae por debajo del de baterías, cuando la temperatura ambiente es elevada.

Nota: La compañía BP proporciona el valor de la corriente de cortocircuito a 50°C , lo que representa un valor intermedio entre 25 y 70°C . Una de las curvas I-V proporcionada por BP muestra el comportamiento del panel a 0°C . Esta curva no muy importante, como veremos al presentar el coeficiente de deterioro para la potencia.

La Figura I.17 muestra la variación de la potencia de salida (Kyocera KC70) en función de la corriente de carga, para tres temperaturas de trabajo: 25 , 50 y 75°C . El trazo en rojo es el comportamiento a 25° , el negro a 50° y el de trazos en negro a 75°C .

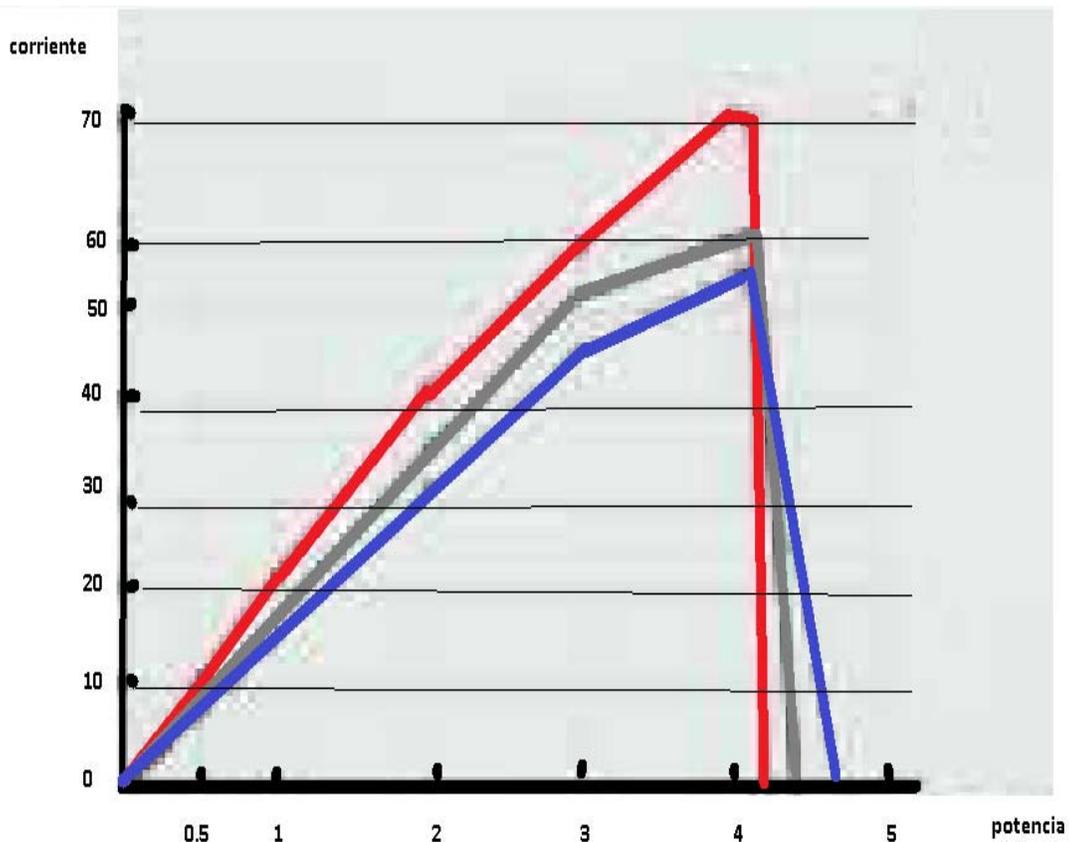


Figura I.17 Potencia de salida vs. Corriente de carga

Rojo: W_p ; Azul: I_{cc}

Corriente (A)	Potencia 25°C (Watts)	Potencia 50°C (Watts)	Potencia 75°C (Watts)
0	0	0	0
0,5	10,7		
1,0	21,1		
2,0	41,0	36,7	32,4
3,0	57,0	52,2	45,7
4,0	71,2	60,8	55,1
4,1	70,1	62,9	
4,15			55,3
4,2	0	59,6	
4,4		0	36,7
4,7			0

Tabla I.2 Potencia de salida vs. Temperatura

Dos características son evidentes:

- La potencia pico de salida sufre una degradación cuando la temperatura de trabajo se incrementa (irradiación constante).
- La potencia de salida disminuye abruptamente cuando la corriente de carga se incrementa levemente por sobre su valor pico (zona a la izquierda del “codo” en las curvas I-V).

En la práctica son muy escasos los lugares donde la temperatura máxima para el verano alcanza sólo 25°C (77°F) y por lo tanto la potencia de salida nunca alcanza el valor pico especificado por el fabricante.

La Tabla I.2 muestra que el panel KC70 tiene una potencia pico de 71,2W a 25°C, la que se reduce a 55,3W a 75°C. De estos valores se deduce que el coeficiente de degradación porcentual (Cd) es cercano a -0,45 %/°C. Como el incremento por sobre los 25°C de medida es de 50°C, se verifica, con un pequeño error porcentual (0,18%), que:

$$W(75^\circ\text{C}) = 71,2 (1 - 50 \times 0,0045) = 55,2 \text{ W}$$

o, en forma genérica,

$$W(T) = W_p (1 - \Delta \times Cd/100)$$

donde T es la temperatura de trabajo para el panel en °C, Δ es el incremento por sobre los 25°C y Cd es el valor porcentual del coeficiente de degradación a usarse.

Notas: La compañía Kyocera no da en sus especificaciones un coeficiente de degradación de potencia, el que posiblemente pueda obtenerse del representante de venta.

La compañía BP da lo que llaman un “coeficiente de temperatura de la potencia” el que, en el peor de los casos, alcanzaría un valor de -0,55 %/°C por sobre los 25°C.

Si en la región donde tu vives no hay brisas diurnas sostenidas durante el verano, las que ayudan a disipar el calor, y la temperatura ambiente alcanza los 35 a 40°C (95 a 104°F) use un Cd de 0,8 % (0,008) para esa estación.

Para temperaturas ambientes de verano de hasta 30°C (86°F) use un Cd de 0,6 %.

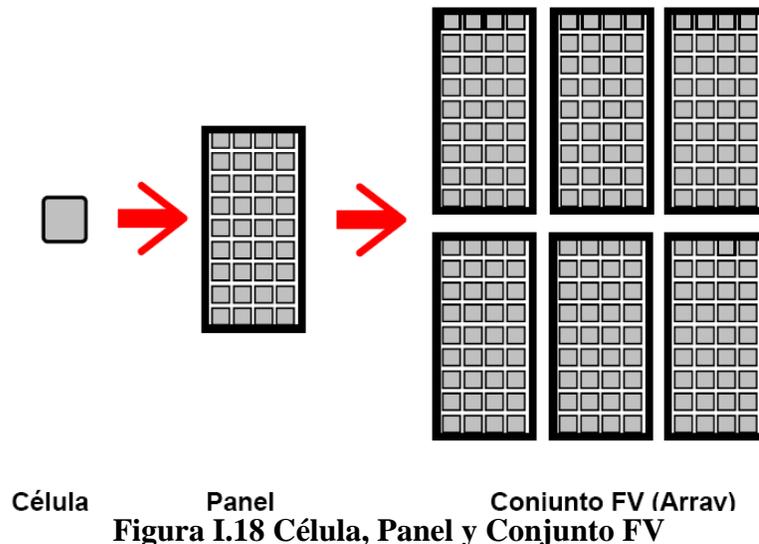
Si la temperatura ambiente durante el verano no supera los 25°C, o la invierno es cercana o por debajo de los 0°C, use el valor de la potencia pico para el diseño.

Los primeros paneles FVs tenían en su parte exterior terminales de conexión sin protección ambiental. Esta realización no existe hoy día ya que ha sido remplazada por el uso de cajas ambientales (herméticas), donde se ubican los dos terminales. La tendencia en los modelos más modernos es el uso de cables de salida con conectores en el extremo libre diseñados para simplificar el conexionado entre paneles a un simple enchufado de los conectores. Este diseño evita el uso de herramientas especializadas y proporciona protección ambiental al conexionado externo.

La evolución de célula a panel FV es no sólo un paso lógico sino inevitable. El panel pasa a convertirse en el elemento primario de la parte generadora.

Cuando el consumo se incrementa, el valor de la corriente de carga requiere cables de mayor diámetro, los que son más costosos y difíciles de conectar. La solución es incrementar el voltaje de salida del sistema, conectando varios paneles usando una combinación serie. Si con el nuevo voltaje el consumo demanda un incremento de corriente, entonces deberán conectarse grupos de igual voltaje de salida en paralelo.

Al agrupamiento serie-paralelo de paneles se lo denomina conjunto FV (array, en inglés). La Figura I.18 muestra, en forma gráfica, los pasos de esta evolución.



A continuación se muestran, en detalle, las hojas de especificaciones para los paneles que he usado como ejemplo, las que obtuvimos de las páginas en internet:

www.kyocerasolar.com

www.bpsolar.com

Las Figura I.19, I.20 y I.21 se pueden encontrar los siguientes puntos:

- 1) Potencia del panel
- 2) Vida del panel
- 3) Voltaje máximo
- 4) Corriente máxima
- 5) Voltaje de cortocircuito
- 6) Corriente de cortocircuito

Estos son los datos más importantes que uno debe de checar a la hora de ver un panel fotovoltaico, estos datos nos ayudan a conocer los alcances de nuestro sistema, el primero es la potencia que puede generar nuestro panel nos sirve para darnos una idea de cuánto puede generar nuestro panel es el dato más común que se nos proporciona cuando hablamos de paneles solares. El segundo dato es de igual valor ya que si decidimos realizar una instalación fotovoltaica estos nos dicen cuánto tiempo tenemos para calcular el costo beneficio que nos dará el sistema (este valor nos indica cuánto tiempo generará en un rango de 100-90% nuestro panel después de eso el fabricante no se hará responsable pero un panel bien cuidado puede durar alrededor de 30 años). El tercer y cuarto valor es el de cuánto voltaje y cuánta corriente máx. nos dará el panel estos valores son los que se toman para los cálculos en la instalación. El quinto y sexto son los valores que debemos de tomar cuando se trata de cálculos de tierra y fusibles.

THE NEW VALUE FRONTIER



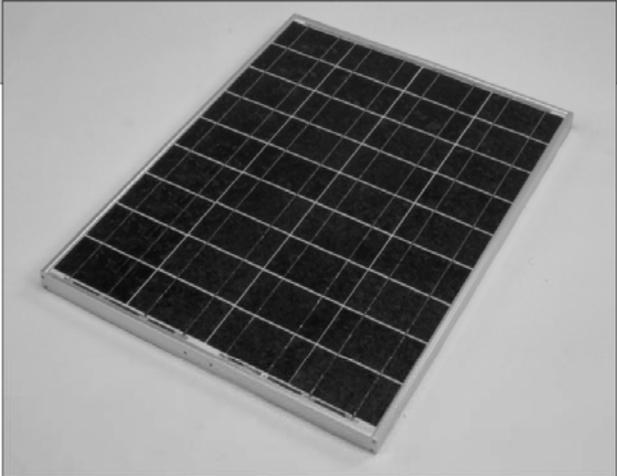
KC70

MODULO
FOTOVOLTAICO
POLICRISTALINO
DE ALTO
RENDIMIENTO

1 POTENCIA TÍPICA 70 W

2 25 AÑOS DE GARANTIA

MODELO KC70



CARACTERISTICAS SOBRESALIENTES

- La avanzada tecnología e instalaciones fabriles automatizadas de Kyocera hacen posible estos módulos solares policristalinos que tienen un rendimiento de transformación de más del 14%.
- Para brindar a las células la máxima protección, aun en las condiciones ambientales más severas, se encuentran encapsuladas en una base de acetato de vinilo entilénico con fluoruro de polivinilo, entre una cubierta de vidrio templado y un respaldo de papel de aluminio.
- La totalidad del laminado se encuentra dentro de un armazón de aluminio anodizado que asegura su resistencia estructural y facilidad de instalación.

USOS TÍPICOS

- Estaciones repetidoras de microondas y de radio
- Electrificación de pueblos en áreas remotas
- Instalaciones médicas en áreas rurales
- Corriente eléctrica para casas de campo
- Sistemas de comunicaciones de emergencia
- Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua
- Faros, boyas y balizas de navegación marítima
- Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado
- Balizamiento para protección aeronáutica
- Sistemas de protección catódica
- Sistemas de desalinización
- Vehículos de recreo
- Señalización ferroviaria
- Sistemas para cargar los acumuladores de barcos de vela

ESPECIFICACIONES

■ Especificaciones Eléctricas

MODELO	KC70
1 Potencia de Salida	70.0 vatios
2 Tensión óptima	16.9 voltios
3 Corriente óptima	4.14 amperios
4 Tensión de circuito abierto	21.5 voltios
5 Corriente de corto circuito	4.35 amperios
6 Largo	865 mm (34.06 in.)
Ancho	652 mm (25.67 in.)
Espesor	56 mm (2.2 in.)
Peso	7.0 kg (15.43 lbs.)

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 KV/m2, masa de aire: 1.5 y células 25°C.

■ Especificaciones Físicas

(en mm)

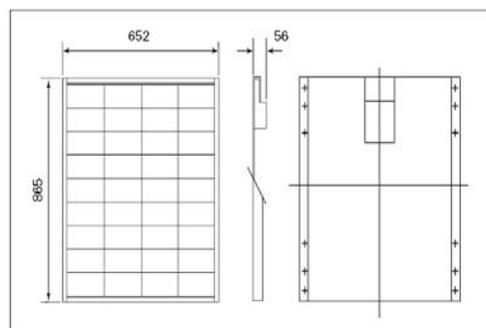
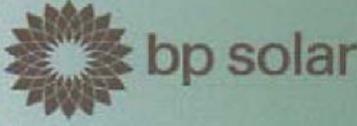


Figura I.19 hoja técnica de panel KC70



BP 380

Módulo fotovoltaico policristalino de 80 W

1

El módulo fotovoltaico BP 380 proporciona actuación superior para uso general y funciona con carga de corriente continua o en sistemas equipados con inversor, con corriente alterna. Sus 36 células de eficacia avanzada de silicio policristalinas en serie cargan perfectamente baterías de 12 voltios en prácticamente cualquier clima. Con 80 vatios de energía nominal máxima, está bien equipado tanto para sistemas complementarios al de la red de la compañía como para aplicaciones tradicionales de energía fotovoltaica como las telecomunicaciones, pueblos remotos y clínicas, bombeo de agua y señalización terrestre para la navegación. Estos módulos utilizan nuestro Marco Universal, el más resistente de la industria.

Las versiones disponibles incluyen:

BP 380S – Módulo enmarcado con cables de salida y conectores polarizados.
 BP 380L – Versión laminada del BP 380S sin marco.
 BP 380U – Módulo enmarcado con una caja de conexiones de alto volumen Tipo A.
 BP 380H – Módulo enmarcado con nuestra caja de conexiones Tipo B.

Materiales Probados y Construcción

La experiencia de 25 años de BP Solar en este campo está presente en cada aspecto de la construcción de este módulo y en sus materiales:

- 36 células en serie de silicio policristalino de eficacia aumentada mediante un mejorado revestimiento de la célula.
- Las células están laminadas entre capas de etileno acetato de vinilo (EVA) y vidrio templado de 3mm con un contenido mínimo de óxido de hierro y elevada transmisividad.
- La resistencia del marco sobrepasa los requisitos de agencias tituladas.





Marco Universal Transparente Anodizado

colocación de los módulos en grupos lado a lado o extremo a extremo.

La salida del BP 380U es a través de nuestra caja de conexiones Tipo A. Esta caja de conexiones está sellada (porcentaje IP54) y acepta cables de accesorios eléctricos o conductos nominales PG13.5 o de media pulgada. Su volumen (441 centímetros cúbicos, 25 pulgadas cúbicas) y un bloque de conexión de seis terminales permite a la mayoría de los sistemas de conexión de grupos (colocando módulos en serie o paralelos) el ajuste en la caja de conexiones. Las opciones incluyen:

- Bloque terminal de gran tamaño con conductores aceptados de hasta 25mm² (AWG#4); terminales estándar aceptados de hasta 6mm² (AWG#10);
- Regulador de carga Solarstate™.

La salida del BP 380H es a través de nuestra caja de conexiones Tipo B. Esta caja de conexiones está sellada (porcentaje de IP65), y presenta una práctica tapa atornillada. Está equipada con terminales de tornillo y ofrece las mismas posibilidades de cableado que la caja de conexiones Tipo A. Están incluidos dos conexiones que aceptan cable con un diámetro entre 6 y 12mm con cada módulo BP 380H.



BP 380

Garantías Limitadas

- Potencia de salida durante 25 años.
- Libre de defectos en materiales y mano de obra durante 3 años.

Consulte nuestra web o a nuestro distribuidor local para conocer los términos completos de estas garantías.





Figura I.20 hoja técnica de panel BP380

Calidad y Seguridad

El BP 380 está fabricado en fábricas homologadas con ISO 9001 y conforme a las Directivas 89/33/EEC, 73/23/EEC y 93/68/EEC. Las siguientes calificaciones han sido otorgadas en los BP 380S, 380U y 380H.

- Listados por Underwriter's Laboratories de seguridad eléctrica e incendios (calificación contra incendios Clase C)
- Los módulos BP 380 están certificados por TÜV Rheinland como equipos de clase II.
- Los módulos BP 380 cumplen con los requerimientos de IEC 61215 e incluye:
 - Ciclado repetitivo entre -40°C y 80°C a un 85% de humedad relativa;
 - Impacto simulado de 25mm de diámetro (una pulgada) de granizo a la velocidad final;

- Prueba de calor húmedo (damp heat) consistente en 1000 horas de exposición a 85°C y 85% de humedad relativa.
- Prueba de punto caliente (hot spot) que determina la capacidad del módulo de tolerar ensombrecimiento local (que puede producir una inversión de polaridad y calentamiento local)
- Carga estática delantera y trasera de 2400Pa (50psf), carga frontal (por ejemplo de nieve) de 5400 pa (113 psf).

El BP 380 está aprobado por la Factory Mutual Research para la aplicación del BP 380U en NEC Clase 1, División 2, Grupos C y D de localizaciones peligrosas; el BP 380L cumple los requisitos de los Underwriter's Laboratories en lo referente a seguridad eléctrica y a incendios.

Características Eléctricas¹

	BP 380	BP 375¹
Potencia máxima ² (P_{max})	80W	75W
Tensión de P_{max} (V_{mp})	17.6V	17.3V
Intensidad de P_{max} (I_{mp})	4.55A	4.35A
P_{max} mínima garantizada	75W	70W
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	4.8A	4.75A
Tensión a circuito abierto (V_{oc})	22.1V	21.8V
Coefficiente de temperatura de I_{sc}	(0.065±0.015)%/°C	
Coefficiente de temperatura de V_{oc}	-(80±10)mV/°C	
Coefficiente de temperatura de la potencia	-(0.5±0.05)%/°C	
NOCT³	47±2°C	
Voltaje máximo del sistema	600V (US NEC Rating) 1000V (TÜV Rheinland Rating)	
Valuación de fusión máxima del sistema	20A (modelos U y H) 15A (modelos S y L)	

Notas

1. Estos datos representan el funcionamiento típico de los módulos BP 380 y BP 375 según sus terminales de salida. La información está basada en mediciones realizadas conforme a ASTM E1035 corregida según SRC (Condiciones de Información Estándar, también conocidas como STC o Condiciones de Prueba Estándar) que son:
 - Iluminación de 1kW/m² (un sol a la distribución espectral de AM 1.5 (ASTM E892 de irradiación espectral global)
 - Temperatura de la célula de 25°C
2. Durante el proceso de estabilización, que se produce durante los primeros meses de despliegue, la potencia del módulo puede decrecer aproximadamente el 3% de la P_{max} típica.
3. Las células de un módulo iluminado operan más calientes que la temperatura ambiente. NOCT (Temperatura nominal de trabajo de la célula) es un indicador de este diferencial de temperatura y es la temperatura de la célula en Condiciones de Trabajo Estándar: temperatura ambiente de 20°C, irradiación solar de 0.8 kW/m² y una velocidad de viento de 1 m/s.
4. La energía de las células solares varía en el curso normal de la producción; el BP 375 está ensamblado utilizando células de una energía ligeramente menor a la del BP 380.

Curvas I-V de BP 380

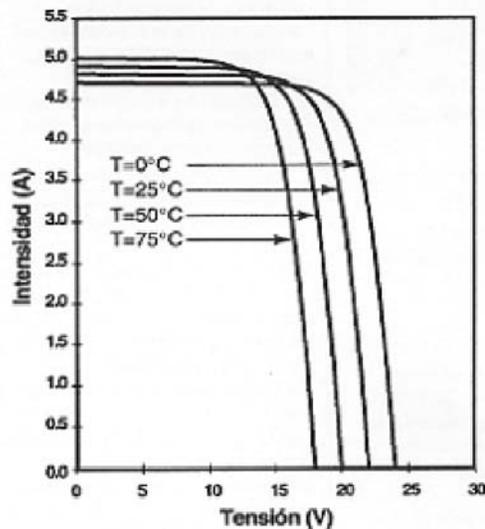


Figura I.21 hoja tecnica del panel BP 380

I.3.3 BATERIAS

Si bien el sistema fotovoltaico (FV) básico muestra al control de carga a continuación de los paneles de generación, es importante familiarizarse primero con los tipos de baterías usados en los sistemas FVs, ya que los controles de carga deben ser elegidos considerando el tipo de acumulador que se usará en el sistema.

Existen varios, pero el que ofrece el mejor balance entre costo y performance es la batería de Plomo-ácido y, en particular, la que tiene electrolito líquido. Este tipo, con más de 140 años de existencia, ha evolucionado y continúa evolucionando tecnológicamente.

Hoy día ya no es posible hablar de la “batería de Plomo-ácido” como si fuere un componente genérico que puede ser usado en distintas aplicaciones, ya que cada tipo representa un producto hecho para satisfacer un tipo específico de carga.

Baterías diseñadas para ser usadas en automotores, o para suplir energía eléctrica durante períodos de interrupción del servicio eléctrico (stand-by power, en inglés), o para integrar el banco de acumulación de un sistema FV no son intercambiables.

En particular, el uso de baterías para automotores en el banco de reserva de un sistema FV presenta problemas que se traducen en mayores costos,

Los conceptos dados a continuación se aplican para cualquier tipo de batería recargable, sea ésta una AA para su linterna o una que es capaz de soportar mil amperes por dos (2) segundos.

El mecanismo que permite la utilización de una batería recargable como una fuente portátil de energía eléctrica consiste en una doble conversión de energía, llevada a cabo mediante el uso de un proceso electro-químico reversible. La primera conversión, energía eléctrica en energía química, toma lugar durante el proceso de carga. La segunda, energía química en eléctrica, ocurre cuando la batería se conecta a la carga.

Nota: Como en toda conversión de energía, los procesos de carga y descarga de una batería vienen acompañados de inevitables pérdidas de energía.

El conjunto integrado por los electrodos y el electrolito constituyen una celda de acumulación. El voltaje de salida para esta celda depende, principalmente, de:

- ➡ Los materiales usados para el electrolito y los electrodos.
- ➡ El estado de carga de la celda.

La corriente máxima que la celda puede entregar a una carga fija, depende, entre otros parámetros, de:

- ➡ La capacidad de la batería.

- La superficie activa de los electrodos.
- La resistencia interna de la celda, la que depende, a su vez, del estado de carga de la celda y el diseño de la unidad.

Las baterías usadas en los sistemas FVs se denominan baterías solares. Como estas baterías admiten un alto porcentaje de descarga, suelen llamarse, asimismo, baterías de ciclo profundo. Por ahora mencionaré algunas características genéricas de las mismas.

Los voltajes nominales más comunes son 6 y 12 V Sin embargo se ofrecen modelos con voltajes de salida de 24 y 48 V para sistemas con cargas de alto consumo.

Las baterías solares usan diferentes tipos de celdas, pero todas tienen un bajo valor para el voltaje de salida, el que oscila entre 1,2 y 2 V nominales. Esto significa que, como en el caso de las células FVs, las celdas deberán conectarse en serie para alcanzar el voltaje nominal de salida, y en paralelo para aumentar el valor de la máxima corriente de carga que podrán sostener en forma continua.

Las celdas se colocan dentro de cajas, las que están hechas con materiales plásticos resistentes al impacto y a la acción corrosiva de los electrolitos usados.

Hay dos tipos de cajas: la hermética y la abierta.

Las primeras proporcionan un alto grado de seguridad, ya que el electrolito no puede derramarse, no importa cuál es la posición del acumulador. Las baterías abiertas tienen tapones de ventilación, los que liberan los gases formados durante el proceso de carga.

La caja de batería está diseñada para minimizar el derrame del electrolito a través de ellos, como veremos.

Abreviaré algo este nombre, usando el símbolo químico para el plomo (Pb), de manera que en adelante haré referencia a las baterías de Pb-ácido, las que se ofrecen en dos versiones:

- Con electrolito líquido (baterías abiertas).
- Con electrolito gelatinoso (baterías herméticas).

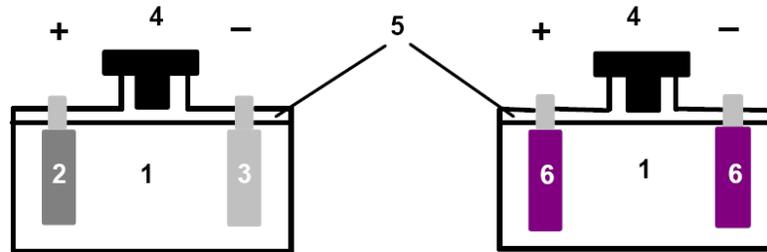
Como el costo de la segunda versión es el doble de la primera, la batería de Pb-ácido con electrolito líquido es la más usada.

El electrolito de estas baterías consiste en una solución con 64% de ácido sulfúrico (H₂SO₄) de alto grado de pureza y 36% de agua destilada (H₂O).

El agua disocia (rompe) las moléculas del ácido creando iones de sulfuro (SO₄)²⁻ y de hidrógeno (H)⁺ El proceso de electrólisis del agua durante la carga genera iones de hidrógeno (H)⁺ y oxígeno (O)₂.

Ambos electrodos están hechos de plomo, pero al terminarse el proceso de fabricación (carga de la batería) el electrodo positivo se cubre con un depósito de dióxido de plomo (PbO_2).

Las Figuras I.22 a y b muestran, respectivamente, una celda de Pb-ácido cargada y descargada.



- 1- Electrolito
- 2- Electrodo con depósito de dióxido de plomo
- 3- Electrodo de plomo

Figura I.22 a Batería Cargada

- 4- Tapón de ventilación
- 5- Nivel del electrolito
- 6- Electrodo con depósito de sulfato de plomo

Figura I.22 b Batería Descargada

El electrolito de una batería de Pb-ácido interviene en forma activa en el proceso electroquímico. Durante la descarga, el electrodo de plomo (Pb) reacciona con el ión sulfato (SO_4), creando un depósito de sulfato de plomo $PbSO_4$. Esta reacción química se lleva a cabo con la cesión de dos iones positivos, lo que da al electrodo su polaridad negativa (cátodo).

Los iones de (SO_4) reaccionan con el dióxido de plomo (PbO_2) del otro electrodo, formando sulfato de plomo ($PbSO_4$). Esta reacción química se lleva a cabo con la cesión de dos electrones, lo que da a este electrodo su polaridad positiva (ánodo).

Los iones de hidrógeno del agua se combinan con el de oxígeno del PbO_2 , formando nuevas moléculas de agua (H_2O). Como en el caso de los semiconductores, se puede observar la creación de cargas libres de polaridad opuestas, las que posibilitan sostener una corriente de externa.

Al revertirse el proceso, el electrolito pierde agua y ambos electrodos vuelven a tener su composición química original.

Nota: El cambio porcentual de la cantidad de agua en solución fuerza un cambio de densidad en el electrolito. Cuando la batería está cargada, la densidad aumenta, y cuando está descargada, disminuye. Estas variaciones de densidad permiten evaluar, con precisión, el estado de carga de las celdas.

Teniendo en cuenta los detalles presentados hasta este momento, es importante recordar que:

- Como la proporción de agua en una batería cargada disminuye, siempre se debe observar el nivel del electrolito después que la batería ha sido cargada.
- Para restaurar el nivel correcto del electrolito sólo debe agregarse agua destilada.
- La remoción temporaria de los tapones de ventilación permite medir la densidad del electrolito.

Es interesante observar los detalles de construcción de una batería de este tipo, con electrolito líquido, ya que muchos de ellos se repiten en otros tipos de baterías. La Figura I.23 proporciona estos detalles.

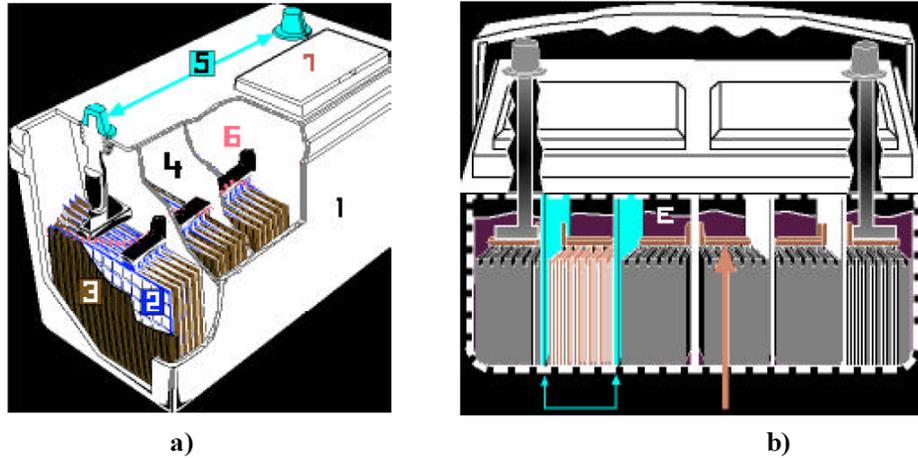


Figura I.23 Batería Pb-ácido para automotor

Las celdas (2) están agrupadas en particiones (4) dentro de la caja (1), de manera que cada celda tiene una parte del electrolito. La Figura I.23 (a y b) muestra el entrelazado de las placas positivas y negativas que componen una celda, con separadores intermedios porosos (3) los que dejan pasar las cargas, a la vez que evitan el cortocircuito entre placas adyacentes (polaridad opuesta). Este entrelazado permite aumentar la superficie activa de las celdas sin incrementar excesivamente el volumen de la caja.

La letra E (Fig I.23b) marca el nivel superior del electrolito, el que se muestra en forma ondulante porque el automotor lo agita durante su marcha. El nivel correcto se alcanza cuando éste cubre la parte superior de las placas, dejando un espacio libre entre el electrolito y el tope de la caja, el que sirve para acumular, temporalmente, los gases liberados durante la carga.

Los bornes de salida (5) son de plomo y levemente cónicos, para facilitar el desmontaje de los terminales de cables, los que están hechos con sólidas abrazaderas de plomo, que se sujetan al terminal de batería con tornillo y tuerca.

Como los vehículos al rodar agitan constantemente el electrolito, los tapones de ventilación se agrupan en dos recesos de la caja. Cada uno de ellos contiene tres tapones, los que están protegidos por una tapa que calza a presión (7). El moldeado de los agujeros para los tapones de ventilación se extiende dentro de la caja. Al alcanzarse el nivel correcto

para el electrolito, la luz que entra se refleja con intensidad, ya que el electrolito forma una superficie cóncava debido al efecto de capilaridad con los bordes moldeados.

Las placas de igual polaridad dentro de una celda están conectadas en paralelo por las barras de conexión (6). La barra de una polaridad, dentro de una celda, se conecta a la barra que une las placas de polaridad opuesta en la celda adyacente, estableciéndose una conexión serie entre ellas como se muestra en la Figura I.24.

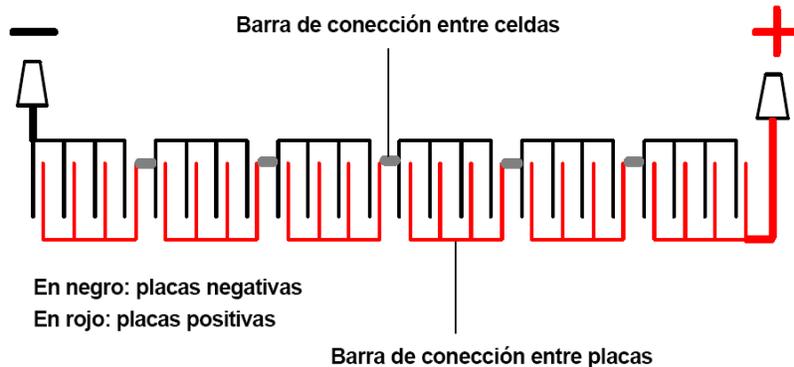


Figura I.24 Conexión interno

Para un voltaje nominal de 12 V de salida la caja contiene seis (6) celdas en serie.

Placas

Las Figuras I.25 a y b muestran la estructura interna de una placa y su montaje. El material activo tiene una estructura esponjosa (1), la que se deposita sobre una rejilla de sostén de plomo (2). Las lengüetas (3) de cada rejilla sirven para conectar las placas de una polaridad a la barra correspondiente. La placa adyacente (diferente polaridad) del entrelazado tiene la lengüeta en el extremo opuesto, para poder separar las barras de diferente polaridad. El separador (4) envuelve a la placa como un sobre, proveyendo aislamiento en toda su superficie activa. Otros fabricantes usan un separador plano (Figura I.25b).

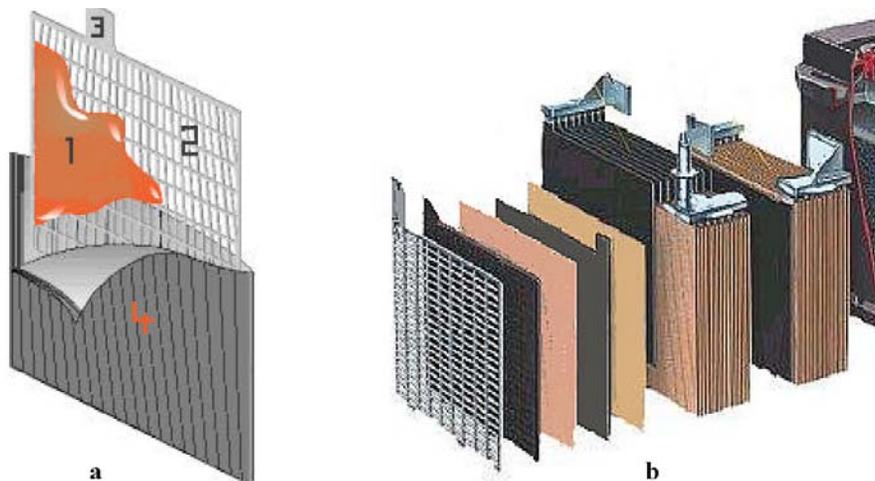


Figura I.25 Detalle de construcción y montaje de las placas

Las baterías de Pb-ácido con electrolito líquido presentan problemas cuando están en servicio activo o en almacenamiento. A continuación mencionaré los más comunes.

Bajas temperaturas- Congelamiento del electrolito

La temperatura que alcanza el electrolito está determinada por la temperatura ambiente, ya que después de una hora la temperatura del electrolito alcanza un valor muy cercano al ambiental.

Si bien la corriente que circula por la batería crea una leve disipación de calor, debido a la resistencia interna, este valor es sumamente bajo como para superar la acción de una temperatura ambiente muy por debajo de los 25°C (77°F), que es el valor de temperatura ideal de trabajo para una batería de cualquier tipo.

Al bajar la temperatura del electrolito la actividad química disminuye y, consecuentemente, el número de cargas libres se reduce. En términos eléctricos esta menor actividad química se manifiesta en un aumento de la resistencia interna del acumulador. Este aumento disminuye el voltaje de salida, y consecuentemente, la corriente en la carga.

Cuando la temperatura ambiente alcanza valores por debajo de 0°C (32°F), el estado de carga de la batería (proporción de agua) determinará la posibilidad de congelamiento del electrolito. La Tabla I.3 proporciona valores promedios para la temperatura de congelación del electrolito líquido en función del estado de carga.

Tabla I.3 Temperatura de congelación vs. Estado de carga

Estado de carga (% del máximo)	Temperatura de congelación (°C)
100	- 58,0
75	- 34,4
50	- 20,0
25	- 15,0
Descargada	- 10,0

Nota: Para una batería en particular, el usuario habla de solicitar esta información del fabricante (o su representante).

Al congelarse, el agua se expande. La fuerza de expansión distorsiona las placas, y hasta puede llegar a quebrar la caja. En ambos casos el daño es permanentemente y la batería debe ser descartada.

Bajas temperaturas- Capacidad de almacenamiento

La Tabla I.4 muestra, en forma porcentual, los cambios en la capacidad de acumulación de una batería de Pb-ácido con electrolito líquido, cuando la temperatura del electrolito disminuye.

Tabla I.4 Capacidad de acumulación vs. Temperatura

Temp. del electrolito (°C)	Capacidad %
30	105
25	100
16	90
4	77

Altas temperaturas- Vida útil

Cuando la temperatura ambiente se eleva, la acción química se acelera, disminuyendo el valor de la resistencia interna. Algún lector puede concluir que las temperaturas ambientes elevadas son las ideales. La conclusión es errónea, pues la mayor actividad química se traduce en una reducción de la vida útil del acumulador, ya que se acelera el desgaste de la superficie activa de los electrodos.

La Tabla I.5 muestra la reducción porcentual de la vida útil en relación al valor máximo a 25°C, si la temperatura de trabajo de la batería se mantiene a la temperatura especificada en la tabla.

Tabla I.5 Reducción porcentual de la vida útil vs. Temperatura

Temp. del electrolito (°C)	Reducción de la vida útil (%)
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Sulfatación

Este es el mayor problema cuando se usan baterías de plomo-ácido con electrolito líquido. Hemos visto que la descarga forma un depósito de sulfato de plomo en ambas placas. Normalmente, este depósito está constituido por pequeños cristales, que se descomponen fácilmente durante el proceso de carga, disolviéndose en el electrolito.

Si el balance energético no puede ser alcanzado para la mayoría de los días en que el sistema permanece activo, el depósito de sulfato de plomo comienza a crecer en espesor. La corriente de carga no consigue desprenderlo totalmente, reduciéndose la superficie activa

de las placas, lo que acorta rápidamente la vida útil del acumulador. A este mecanismo se lo denomina sulfatación de la batería.

Notas: Este mecanismo toma lugar, asimismo, en baterías que permanecen en depósito por largo tiempo, sin ser recargadas.

La posibilidad de sulfatación de las placas se incrementa, si el sistema FV está instalado en un lugar donde los períodos nublados son de larga duración.

El proceso de sulfatación se acelera cuando la temperatura del electrolito se eleva. Si el usuario de un sistema FV ignora la importancia de no sobre-descargar el banco de reserva durante períodos de baja irradiación solar, y no baja el consumo, la posibilidad de que las placas se sulfaten se incrementa substancialmente.

¿Existe un remedio para este problema? Hasta hace pocos años, se sugería el uso de una corriente entre 3 y 5 veces la de carga normal (corriente de ecualización), pero esta “solución”, trae aparejado problemas, ya que los depósitos cristalinos que se desprenden caen en pedazos al fondo de la batería, sin disolverse en el electrolito.

Esto significa que una parte importante del material activo que interviene en el proceso químico se perderá con cada ecualización.

La corriente de ecualización, siendo tan elevada, requiere el uso de un cargador auxiliar, complicando aún más el proceso de “recuperación”. Un procedimiento que da mejores resultados, pues actúa como preventivo, es el uso de un desulfatador electrónico, el que somete a los cristales a una agitación mecánica.

Para aquellos que no pueden pagar por este tipo de desulfatador, la única solución es un cuidadoso uso del banco de reserva complementado por un riguroso plan de mantenimiento.

Actualmente se ofrecen dos versiones. Una (Renew-IT Pulse Technology™) usa pulsos de alto voltaje, de muy corta duración, a fin de reducir a un mínimo la corriente de agitación. La otra versión (Atlantic Solar Products™, Inc.) emplea un oscilador de alta frecuencia para llevar a cabo la agitación mecánica.

La información técnica suministrada por las dos compañías indica que el modelo a pulsos consume más energía que el segundo, ya que fue originalmente diseñado para baterías de automotores, las que siempre están siendo cargadas. El segundo (Figura I.26), tiene un consumo insignificante, comparado con el de la carga, y puede conectárselo, permanentemente, en paralelo con la salida. En este modelo las oscilaciones eléctricas ayudan a remover los depósitos durante el período normal de carga, de manera que su diseño parece ser más bien preventivo, aunque, con tiempo, puede recuperar una batería considerada descartable (descartada).



Figura I.26 Desulfatador electrónico

Gasificación

Cuando una batería de Pb-ácido alcanza el 100% de su carga, su voltaje es muy cercano al del cargador. La diferencia de voltaje es mínima, disminuyendo la corriente de carga y, por ende, las reacciones químicas. Es entonces cuando los iones de oxígeno e hidrógeno formados por la electrólisis del agua no se combinan químicamente y escapan por los tapones de ventilación. Los de hidrógeno (H)⁺ irán al electrodo negativo, y los de (O)₂— al electrodo positivo. Este escape de gases produce un burbujeo en el electrolito, al que se conoce como gasificación.

Algo de gasificación es útil, pues contribuye a homogeneizar la solución electrolítica evitando la estratificación en capas con distintas densidades. Pero aún a bajos niveles, el oxígeno ataca los sostenes de plomo de las celdas, lo que puede ocasionar el derrumbe de una de las celdas. Este fenómeno, conocido como la “muerte súbita” de la batería, ocurre sin dar aviso previo.

Si el cargador tiene un voltaje elevado, la gasificación se incrementa y el burbujeo se hace tan intenso que los gases arrastran parte del electrolito fuera de la caja, a través de los tapones de respiración. El ácido sulfúrico que escapa daña los terminales de salida y disminuye la cantidad de ácido en solución.

Auto descarga

Una batería que está cargada y permanece inactiva, independientemente de su tipo, pierde su carga con el tiempo. Este fenómeno es conocido como auto descarga. La rapidez de descarga depende de:

- El tipo de batería (Pb-ácido líquido o gelatinoso, Niquel-Cadmium, etc).
- La temperatura ambiente.

A las placas de las baterías de Pb-ácido para automotor se le agrega calcio (baterías de mantenimiento nulo) para reducir la pérdida de agua en el electrolito y la gasificación. La presencia del calcio retarda la auto descarga, lo que es importante si el vehículo permanece

inactivo por un tiempo. Estas baterías, a temperaturas cercanas a los 25°C, tardan un año en perder el 50% de su carga.

A las placas de las baterías de Pb-ácido de ciclo profundo (baterías solares) se le agrega antimonio, lo que permite incrementar la cantidad de material activo en las mismas, y, por ende, su duración. El antimonio aumenta la auto descarga, tardando sólo unos meses en descargarse totalmente a una temperatura cercana a los 25°C.

Cuando la temperatura ambiente se eleva, la auto descarga se acelera, como se mencionó anteriormente.

Los problemas enumerados muestran la necesidad de:

- Ubicar las baterías en un lugar donde la temperatura ambiente se mantenga cercana a los 25°C durante todo el año.
- Mantener las baterías cargadas.
- Vigilar constantemente el estado de carga de una batería de Pb-ácido (electrolito líquido) que debe permanecer en depósito por largo tiempo.
- Alternar, cada semana, la batería en depósito con otra unidad en uso.
- No someter el banco de baterías a descargas excesivas.
- Mantener el balance entre carga y descarga.

La sulfatación destruye, según la información técnica proporcionada por la asociación de fabricantes de acumuladores de Pb-ácido de los EEUU, ocho (8) de cada diez (10) baterías de Pb-ácido en uso.

Si bien el voltaje de batería no representa una medida absoluta del estado de carga de la misma, éste es el único indicador que nos queda cuando debemos evaluar el estado de carga de una batería hermética con electrolito ácido.

La medida de este valor debe tomarse con la batería descansada, es decir, no durante la carga, o cerca de haber terminado la misma. Como un proceso químico toma lugar en ambos casos, el voltaje experimenta variaciones.

La página siguiente proporciona una tabla que relaciona el voltaje de batería y la densidad del electrolito (25°C) con el por ciento del estado de carga.

La tabla I.6 incluye valores para baterías de 6 y 12 V, los que guardan una relación de 2:1.

Tabla I.6 Carga vs. densidad

ESTADO DE CARGA	DENSIDAD	VOLTAJE	
		12 V	6V
100%	1,265	12,70	6,35
75%	1,225	12,40	6,20
50%	1,190	12,20	6,10
25%	1,155	12,00	6,00
DESCARGADA	1,120	11,90	**

** 6,00 V o algo por debajo de ese valor

I.3.4 BATERIAS SOLARES

Este capítulo está dividido en tres secciones. La primera introduce los parámetros eléctricos típicos de dos baterías: la usada en un sistema solar y la usada en los automotores. El significado de estos parámetros es analizado en detalle.

Basados en valores típicos para cada uno de ellos, la segunda sección establece las diferencias entre los dos diseños. La información en esta sección incorpora, asimismo, la descripción de dos baterías, una de cada tipo, para familiarizar con los nuevos diseños en acumuladores de Pb-ácido.

En la última sección introduzco las baterías de Pb-ácido herméticas y las de nickel-cadmio (Ni-Cd). Aunque la batería de Pb-ácido con electrolito líquido es el diseño menos costoso, considero que el lector debe conocer otros tipos de baterías, así como sus características principales.

Cuatro parámetros definen una batería solar:

1. El máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un determinado número de horas de descarga.
2. Su capacidad para almacenar energía.
3. La profundidad de descarga que puede soportar, sin dañarse, en forma repetitiva.
4. La vida útil de la unidad, vale decir, el máximo número de ciclos de carga-descarga (u otro parámetro equivalente).

La industria ha estandarizado la prueba que determina el valor de la máxima corriente de descarga. Esto permite comparar distintos modelos de baterías.

El valor de la corriente máxima es aquel que permite una descarga continua de 20 horas de duración, al cabo de la cual la energía en reserva representa el 20% de la máxima con la que comenzó.

Los dos parámetros usados: corriente y tiempo, determinan que el valor derivado de la prueba esté dado en Amper-horas (Ah). Este valor representa la capacidad de la batería y de él se deriva el valor de la corriente máxima, para un dado régimen de descarga.

Ejemplo

Si la capacidad de una batería solar es de 200 Ah, la máxima corriente que el acumulador puede sostener durante la descarga es de 10A (200/20).

Esta forma de dar el valor de la corriente parece arbitraria, pero no lo es si recordamos que la máxima corriente de descarga, por definición, requiere un número específico de horas.

Si la batería del ejemplo se descarga con un régimen de C/40, la corriente de descarga es de 5A. Todo valor fraccionario para el cual el denominador es mayor que veinte (20), debe interpretarse como una descarga (o carga) que demanda menos corriente que el valor máximo.

El lector puede interpretar que la corriente máxima de la batería, para menores tiempos de descarga puede, en efecto, ser mayor que la máxima medida para una descarga de 20 horas. Esta contradicción no existe, ya que corrientes de descarga en exceso del máximo determinado por la prueba hacen incrementar la resistencia interna en forma substancial, disminuyendo severamente el voltaje de salida. Cuando este valor disminuye, la capacidad de sostener una corriente constante sobre la carga desaparece.

Corrientes en exceso de C/20, si no son debidas a transitorios en la carga de corta duración, generan una disipación de calor ($I^2 \times r_i$) que daña a la batería en forma permanente. En particular, la batería de nuestro ejemplo no puede entregar 200A, durante una hora, en forma continua, ya que el proceso químico no puede ser acelerado por sobre un máximo.

En este momento, muchos de los lectores se preguntarán si un banco de acumulación que use las baterías de nuestro ejemplo puede proporcionar corrientes superiores a C/20. La respuesta es afirmativa, ya que pueden conectarse, en paralelo, varias de ellas. Cada una contribuirá 10 A. Otra solución es elegir una batería con mayor número de Ah.

Notas: La especificación del valor en Ah se extiende a las pequeñas baterías recargables.

Lógicamente, en estos casos, los valores se reducen a mAh y el tiempo de descarga se reduce substancialmente.

Recuerde que el valor dado en mAh para estas baterías sólo tiene un valor práctico cuando se conoce el tiempo de descarga con el cual fue derivado.

La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el producto del voltaje nominal por el número de Ah, este producto se mide en wathoras (Wh) o KWh, dependiendo de su valor. Por lo tanto:

$$\text{Wh} = \text{Voltaje nominal} \times \text{Ah}$$

Si la batería solar de nuestro ejemplo tiene un voltaje nominal de 6V, la cantidad de energía que puede ser acumulada es de 1.200Wh (1,2KWh).

La Profundidad de Descarga (PdD) representa la cantidad de energía, dada en forma porcentual, que se extrae de una batería. Si la batería del ejemplo anterior entrega 600 Wh a la carga, la PdD es del 50%.

Nota: Cuando se efectúa la prueba para determinar el valor en Ah de una batería solar la PdD alcanza el 80%.

Hemos visto que el proceso químico de una batería recargable es reversible.

Sin embargo, por experiencia propia, sabemos que los acumuladores tienen una vida finita (vida útil). 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. Si la PdD es elevada, el número de ciclos se reduce.

Nota: En la práctica, la vida útil de una batería solar suele verse acortada debido a un uso indebido (sulfatación prematura).

Cuatro parámetros definen a este tipo de batería. Usaré las abreviaturas en inglés ya que la literatura técnica las usa profusamente.

1. Amperes de arranque en frío, CCA en inglés (Cold Cranking Amps).
2. Amperes de arranque, CA en inglés (Cranking Amps).
3. Nivel de reserva, RC en inglés (Reserve Capacity)
4. Amperes horas (20hrs de descarga).

Amperes de arranque en frío. 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 1,2V (7,2 V de salida para una batería de 12V).

Amperes de arranque. 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 1,2V.

Nivel de reserva

El nivel de reserva representa el tiempo, en minutos, que la batería puede entregar una corriente de 25A con una temperatura ambiente de 80°F (26°C).

Este parámetro, pocas veces mencionado, tiene el mismo significado que para una batería solar.

Las especificaciones dadas para una batería para automotor apuntan a un solo objetivo lógico: asegurar el arranque del vehículo cuando la temperatura ambiente es baja, es decir, cuando la actividad química disminuye. Los dos primeros parámetros (CC y CA) sólo difieren en el mínimo valor para la temperatura ambiente.

El nivel de reserva tiene un solo fin: seguridad. Una corriente de 25A no permite el arranque del vehículo, como veremos de inmediato, pero es suficiente como para mantener activas las luces parpadeantes de seguridad por varias horas.

Las baterías de un sistema FV doméstico para uso nocturno deben entregar una corriente cercana o igual a su máximo, durante varias horas, sin poder ser recargadas.

La batería en un automotor debe entregar, en menos de 30 segundos, una corriente transitoria cuyo valor pico alcanza 1.000 A (por unos 3 segundos), pero tiene asegurada una recarga inmediata, que continúa mientras el motor funcione.

Vemos entonces que el régimen de las cargas son completamente distintos, y por lo tanto, los parámetros eléctricos que son importantes en una batería solar, como el número de Ahr y la PdD, no tienen importancia en una batería automotriz.

La calidad de una batería solar está determinada por la capacidad de acumulación (Ah x V) y entrega (PdD) de energía durante largos períodos de actividad.

La calidad de una batería automotriz está relacionada con los valores de corriente que puede entregar durante el arranque, a temperaturas bajas (CCA y CA).

Baterías solares de 250 Ah son frecuentemente usadas en sistemas FVs de bajo consumo para uso doméstico, mientras que la batería automotriz de mejor calidad sólo alcanza los 60 Ah.

Distintos requerimientos se traducen en distintas técnicas de construcción para las placas que forman las celdas. Las de una batería solar tienen una mayor cantidad de material activo por unidad de volumen, para alargar la vida útil de las mismas.

En las baterías para automotor lo que importa es obtener una baja densidad de corriente (A/cm²) para minimizar la caída de voltaje por celda cuando circula la corriente de arranque. Por ello usan placas de plomo esponjoso, el que ofrece la mayor superficie de conducción para un dado volumen de caja.

Esta diferencia de diseño hace que una batería solar de 6V (3 celdas), con volumen muy similar a la de 12 V para un automotor (6 celdas), pese más de 28 Kgs (62 lbs). El incremento del material activo explica, asimismo, el mayor costo asociado con las baterías solares.

Es evidente que una batería solar y otra de automotor son versiones totalmente diferentes. El análisis llevado a cabo refuerza el concepto dado en el capítulo anterior,

donde se indicó que cada tipo de batería satisface las necesidades de una carga específica. Si tu usas para el banco de reserva baterías de automotores, su duración será extremadamente corta, viéndose obligado a cambiarlas frecuentemente, y comprometiendo el grado de confiabilidad del sistema.

Es interesante observar, después de más de 140 años de existencia, cómo siguen evolucionando las baterías de Pb-ácido.

Un nuevo diseño para baterías de auto es el ofrecido por la compañía OPTIMA® Batteries (Figura I.27). En estas baterías los electrodos se reducen a hojas metálicas, las que son enrolladas, formando un cilindro. El separador, de muy poco espesor, tiene depresiones, donde se coloca el electrolito, el que tiene una estructura pastosa. Los cilindros así formados constituyen las celdas en esta nueva batería.

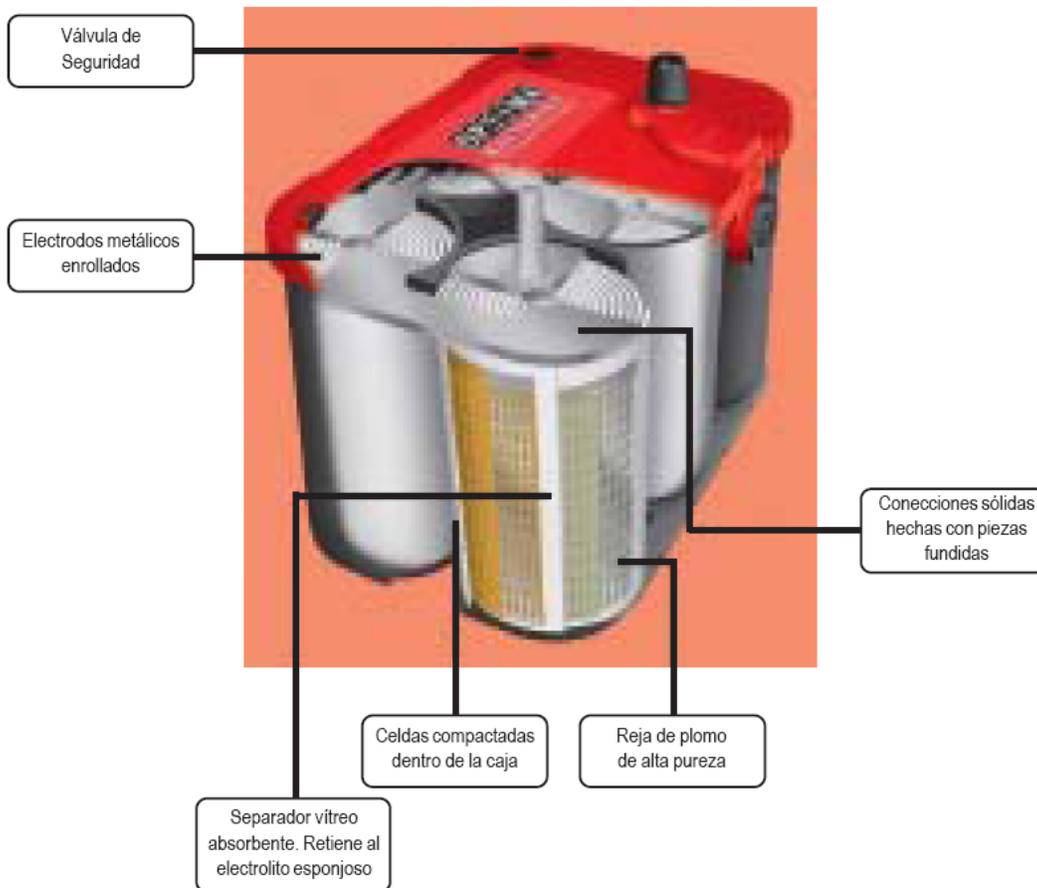


Figura I.27 Batería automotriz OPTIMA

El diseño del separador y el alto grado de compactación entre electrodos, ayudan a crear una estructura mecánica monolítica, la que se ve reforzada por el diseño de la caja, la que sigue las curvaturas de los cilindros internos. El uso de un electrolito pastoso, un empaquetado ceñido y una caja hermética, la convierte en el diseño ideal para vehículos

sometidos a continuo ajeteo, como los tractores agrícolas, autos, camiones, embarcaciones marinas o vehículos militares.

Desde el punto de vista eléctrico estas baterías ofrecen valores elevados para los cuatro parámetros que he descripto anteriormente. El reducido espesor del separador baja drásticamente la resistencia interna de la batería, permitiendo corrientes de arranque elevadas. El costo de estas batería es mayor que el de una batería de Pb-ácido con electrolito líquido de muy buena calidad (30 al 50% mayor) .

La compañía Trojan™ Battery Co ha fabricado baterías de Pb-ácido con electrolito líquido por muchos años, pero en el presente ofrece tres versiones:

- Pb-ácido con electrolito húmedo.
- Pb-ácido con caja hermética.
- Batería tipo AGM.

Como los dos últimos tipos son de mayor precio, pasaré a describir la del primer tipo. Trojan™ introdujo cambios substanciales en el diseño de las placas, los separadores y el electrolito. Los nuevos separadores, patentados con el nombre de Maxguard™, combinados con un nuevo electrolito pastoso (Alpha Plus™) que se deposita en el nuevo diseño de la placa, contribuyen, según el fabricante, a reducir las pérdidas de material activo (mayor vida útil), a una menor estratificación del electrolito y a una sensible disminución de la resistencia interna del acumulador.

Las cajas de estas baterías no son herméticas y tienen tapones de ventilación (Figura I.28). La caja incorpora el moldeado de costillas de refuerzos en su superficie externa, incrementando su resistencia mecánica (modelo Polyon™). Dependiendo del peso de la unidad, el moldeado de ésta contempla la incorporación de manijas o agarres especiales, los que facilitan su manejo cuando la unidad deba ser ubicada en el banco de acumulación.

La compañía Trojan está propiciando el uso de un nuevo parámetro eléctrico para definir la vida útil de un modelo. Introducen para este fin lo que ellos llaman LEU unidad de energía de vida, LEU en inglés (Life Energy Unit). El número de LEUs dado para una determinada unidad, representa el número de KWh que ésta será capaz de entregar durante su vida útil.

Esto representa una desviación respecto a la forma tradicional de especificar las baterías de ciclo profundo, donde la vida útil es dada por dos parámetros inter-dependientes: el máximo número de ciclos y el porcentaje de la PdD.

Durante años este fabricante dio la especificación de la vida útil de sus baterías solares usando la combinación de ciclos y PdD, pero ahora auspician la nueva unidad, reduciendo los dos parámetros a uno. El número de KWh (o LEUs) es equivalente a tener un monto inicial de energía. Cuando la PdD aumenta (mayor uso), su reserva se reduce.

Esta especificación asume que la batería será recargada diariamente, conservando el balance energético mencionado repetidas veces.

Son muchos los fabricantes que ofrecen baterías de ciclo profundo con electrolito de Pb-ácido (así como los otros ya mencionados). Citaré, entre ellos, US Battery™, Trojan™ y Concorde™. La tabla dada a continuación muestra el amplio rango en Ah que ofrecen los modelos en venta. La información corresponde a baterías de 6 y 12 V, pero debe tenerse en cuenta que algunas de las compañías ofrecen baterías con mayores voltajes de salida.

COMPAÑÍA	Ah (12 V)	Ah (6V)
US Battery	250 – 414	105 - 415
Concorde	104 – 258	138 - 224
Trojan	85 – 450	210 – 420

Como ilustración, y para dar idea de la variación en tamaños, la Figura I.28 ilustra dos modelos de Trojan™: el T-105 y el L16-H. La tabla a continuación resume las características eléctricas y físicas (dimensiones y peso) de estos dos modelos.



Modelo	Peso	Voltaje	Ahr	LEU	Ancho	Espesor	Alto
	Kgs	V		KWh	cm	cm	cm
T-105	28	6	225	438	26,4	18,1	27,6
L16-H	55	6	420	1.148	29,5	17,8	42,5

Figura I.28- Trojan T-105 y L16-H

Si los gases generados en la batería de Pb-ácido pueden ser parcialmente o totalmente recombinados, la caja de la batería puede ser hermética. Esta solución es la

usada en las baterías con electrolito gelatinoso (gel cell batteries, en inglés). El grado de recombinación depende de la actividad química en el electrolito (valor de la corriente).

Para situaciones de emergencia, como un cortocircuito externo, estas baterías poseen una válvula de seguridad, y de allí que también se las conozcan por la abreviatura inglesa VRLA (Valve Regulated Lead Acid) o Pb-ácido regulada por válvula.

Los vendedores de baterías herméticas ofrecen, hoy día, un sólo tipo de construcción, el que se conoce por las sigla inglesa AGM (Aggegated Glass Mat).

La mejor traducción sería conglomerado (aggregate) con alfombrilla (mat) “vidriosa” y electrolito. La alfombrilla es el separador de placas, el que está hecho de una estructura fibrosa fina de silicio y boro, la que tiene una apariencia vidriosa (fiberglass).

El electrolito, que ha sido reducido a una densa estructura gelatinosa, pasa a formar parte del conglomerado.

Las baterías de este tipo usan un electrolito de ácido y agua, pero la solución tiene un grado de saturación menor que la del electrolito líquido.

Ventajas

Estas baterías:

- Toleran más abuso que las primeras baterías del tipo hermética, ya que el grado de recombinación de los gases de carga es algo superior al 99 %.
- Tienen una auto-descarga que no excede el 3% por mes (25°C).
- Pueden ser recargadas al 100%, aún si han perdido completamente su carga.
- Nunca desparramarán el electrolito (aún si se rompiere la caja), convirtiéndose en la solución ideal para instalaciones en donde el movimiento constituye un problema (boyas, embarcaciones o aviones).
- Resultan muy seguras cuando son instaladas dentro del hogar.
- No dejan escapar grandes cantidades de gases al ser cargadas (menos del 4% del total), siendo ideales en aviones o en instalaciones fotovoltaicas donde el banco de baterías debe ubicarse en un lugar habitable.
- Como no requieren mantenimiento (agregado de agua), se las usa en instalaciones donde la supervisión es poco frecuente o nula, como la iluminación de carteles de propaganda en lugares remotos o repetidores telefónicos en la montaña. Esta característica puede ser útil cuando el usuario de un sistema FV no quiere o puede mantener el banco de batería. Muchos sistemas FVs integrales (sistemas listos para ser usados) incluyen este tipo de batería.
- Resisten mejor las bajas temperaturas ambientes.
- Abarataran el costo de envío, ya que son clasificadas como substancia no peligrosa.
- No necesitan eculización.

Desventajas

- ✘ El costo es dos a tres veces superior al de una batería Pb-ácido con electrolito líquido.
- ✘ La corriente y el voltaje de carga son más bajos que para la de electrolito líquido (mayor tiempo de carga).

No podemos concluir sin mencionar las baterías de Nickel Cadmio (Ni-Cd) de ciclo profundo. Debido a su alto costo inicial (6 a 8 veces el de una batería de Pb-ácido con electrolito líquido), este diseño no ha podido suplantar a ese tipo, a pesar que el costo operacional (costo a largo plazo) es mucho menor (5 veces) al de una batería del tipo Pb-ácido de igual capacidad.

Las baterías solares de Ni-Cd se fabrican con un procedimiento completamente diferente del usado para las versiones pequeñas (hoy discontinuadas), evitando el efecto “memoria” de las pequeñas y medianas baterías (herramientas portátiles) de Ni-Cd.

Las baterías solares de Ni-Cd usan un diseño llamado “placas con bolsillos” (pocket plate, en inglés). Las placas son de acero inoxidable, con depresiones (bolsillos) donde se coloca el material activo. El electrolito de estas baterías es una solución de agua e hidróxido de potasio, el que requiere una fina capa de aceite en la superficie superior para evitar su oxidación por el oxígeno del ambiente.

Ventajas

Las baterías de Ni-Cd que usan este método de fabricación:

- ☑ Toleran más abuso que su equivalente de Pb-ácido, ya que soportan, sin dañarse, cargas y descargas excesivas, y pueden trabajar con bajo estado de carga sin deteriorarse.
- ☑ Toleran una mayor PdD (cerca del 100%).
- ☑ Tienen una mayor eficiencia con bajas y altas temperaturas y soportan, sin problemas, una alta combinación de temperatura y humedad ambiente. Esta última característica las convierte en la solución ideal para climas tropicales.
- ☑ No tienen problemas de sulfatación de las placas o congelación del electrolito.
- ☑ La autodescarga, inicialmente elevada, disminuye con el tiempo, permitiendo largos períodos de almacenamiento con una retención considerable de la carga inicial.
- ☑ La vida útil es de más de dos veces la de una batería solar de Pb-ácido de igual capacidad. Uno de los fabricantes de más experiencia con este tipo de baterías (SAFT-NIFE) las garantiza por 20 años.

Desventajas

- ✘ La característica de descarga es la mayor desventaja, ya que el voltaje de salida permanece prácticamente constante (extremadamente baja resistencia interna) hasta que, súbitamente, su capacidad de almacenaje se ve agotada.
- ✘ En ese momento el voltaje de salida cae en forma vertiginosa, no permitiendo al usuario tener un “aviso previo”.

- ✘ La evaluación del EdC (estado de carga) requiere medir el voltaje de salida con un voltímetro que tenga la suficiente resolución y precisión para que la lectura contenga dos decimales significativos, ya que la diferencia en voltaje entre una celda cargada o otra descargada es muy pequeña (1,4V cargada; 1,1V descargada).
- ✘ El electrolito de una batería de Ni-Cd tiene un rol pasivo. Sólo actúa como transportador de cargas, y por lo tanto, no hay variación alguna en su densidad entre una celda cargada o descargada. No es posible usar un densímetro para determinar el EdC.
- ✘ El bajo voltaje por celda obliga a la incorporación de un mayor número de celdas/batería para obtener voltajes cercanos a los 12V.

La Figura I.29 muestra la construcción de una batería solar de este tipo.

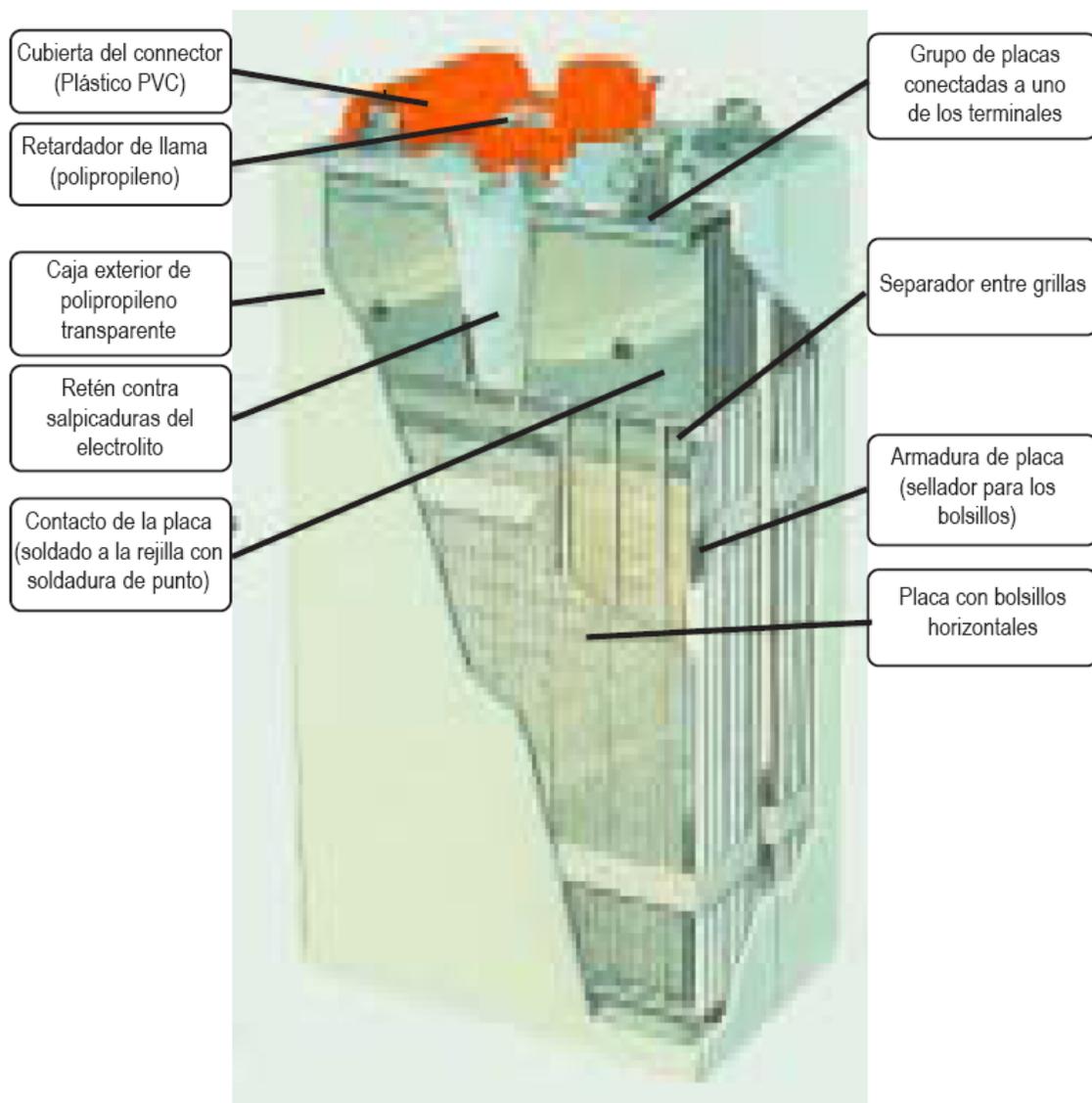


Figura I.29- Batería de Ni-Cd (SAFT-NIFE)

I.3.5 CONTROL DE CARGA

La pregunta lógica es ¿porqué se necesita un control de carga? La respuesta es: para implementar un proceso de carga que sea altamente eficaz para el tipo de batería a usarse, durante el reducido tiempo en que el sistema de carga permanece activo (duración del día solar promedio). Si el sistema FV no requiere un banco de reserva, el control de carga no se necesita.

Nota: Cuando mencione la palabra batería(s), se deberá asumir que me refiero al tipo Pb-ácido, con tapones de ventilación, de 6 o 12 V nominales. De lo contrario, el nuevo tipo será identificado.

Existen dos formas de trabajo para el Control de Carga (CdC): control en serie y control en paralelo. La Figura I.30 ilustra cómo las dos versiones varían el valor de la corriente de carga.

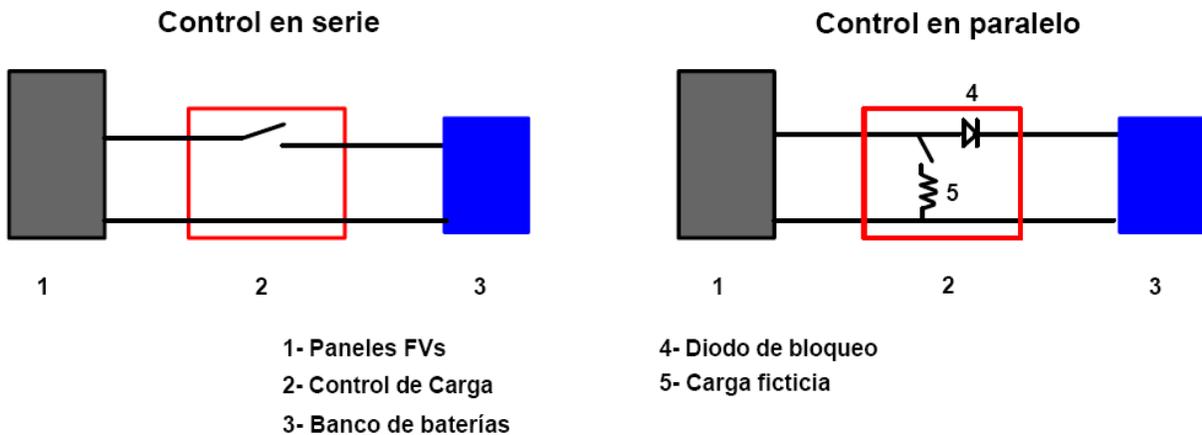


Figura I.30 Controles de carga en serie y paralelo

Nota: Las llaves interruptoras en la Figura I.30 sólo tienen, por el momento, un significado conceptual.

En **serie** la acción de control toma lugar en el circuito de carga, abriéndolo y cerrándolo intermitentemente, dependiendo del voltaje de la batería. Durante la noche, el circuito de carga permanece abierto, evitando que las baterías se descarguen a través de los mismos (diodo N-P polarizado para conducir por el voltaje de batería

En **paralelo** en estos modelos actúa desviando, en forma intermitente, la corriente de carga a una carga ficticia (dummy load, en inglés) la que queda conectada en paralelo con el circuito de carga. Como el circuito de carga no se abre, para evitar la descarga de las baterías, se conecta un diodo de bloqueo del lado de la batería. La presencia del mismo crea pérdidas de potencia y reduce el valor máximo del voltaje de carga. Esto hace que los controles paralelos sean menos eficientes que la versión en serie, y por ello la mayoría de los controles ofrecidos a la venta son del tipo serie.

Un circuito de control tiene dos secciones: la que ejerce el control, y la que lo recibe. Ambas están vinculadas, en todo momento, a través del circuito de monitoreo (feedback, en inglés), el que completa el circuito de control (control loop, en inglés). La señal de monitoreo permite que la sección de control pueda ejercer su acción en el momento y forma apropiada.

El monitoreo vigila el Estado de Carga (EdC) del banco de baterías, mandando al CdC información sobre el voltaje de batería. Si bien este voltaje no representa la mejor manera de conocer con precisión el EdC de la batería, es el parámetro más fácil de monitorear y desde los primeros diseños se lo utilizó como señal de feedback. Por otra parte, hacia el final del ciclo de carga, el voltaje de batería se mantiene casi constante, proveyendo una información más satisfactoria sobre el EdC del acumulador.

La Figura I.31 muestra tres voltajes de monitoreo: el de batería, el del generador de entrada y el de un sensor de temperatura, como explico a continuación.

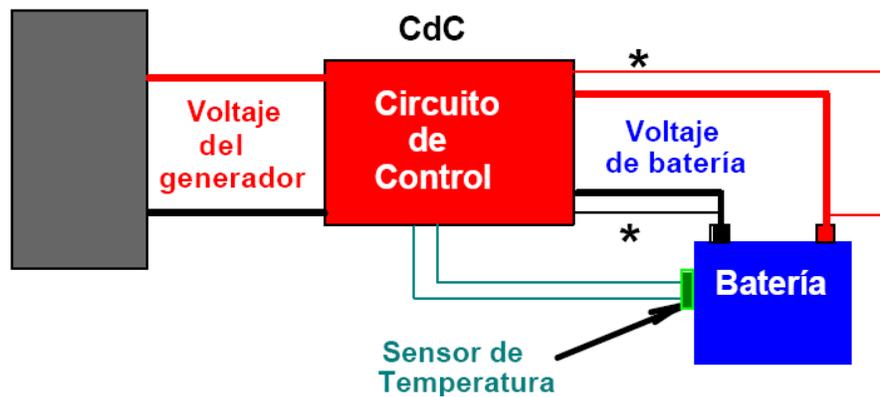


Figura I.31 Control de carga

La batería está conectada permanentemente a la salida del CdC. En sistemas con altas corrientes de carga, a fin de eliminar el error introducido por la caída de voltaje en los cables de conexión, se utilizan cables adicionales de monitoreo por los que circula una corriente (marcados con un asterisco en la Figura I.31).

La incorporación de un sensor de temperatura provee un voltaje suplementario, el que se conecta al terminal especialmente provisto en el CdC. El sensor, que a veces está adherido a la caja de batería y en otras atornillado a uno de sus terminales, envía un voltaje variable de corrección, el que se adiciona o subtrae al valor del voltaje máximo de carga, dependiendo de la temperatura del electrolito.

El monitoreo del voltaje de batería continúa durante la noche y puede utilizarse para interrumpir el circuito de carga, cuando éste alcanza un valor excesivamente bajo (low voltage disconnect, en inglés).

Un criterio similar se aplica al voltaje de salida de los paneles, el que puede ser desconectado cuando alcanza un valor menor al voltaje de carga de la batería.

Estos ejemplos los he traído a colación para que el lector advierta que los CdC modernos son utilizados para llevar a cabo funciones adicionales, las que se agrupan bajo el nombre genérico de opciones. Algunas de ellas están directamente relacionadas con el proceso de carga (control de temperatura), mientras que otras tienen una acción indirecta (ecualización o monitoreo del sistema).

La posición que tiene el CdC dentro del circuito FV (entre la parte generadora y el resto del circuito), dicta que las opciones se incorporen en este punto. Algunas pasan a formar parte del control de carga (control de temperatura y ecualización), mientras que las que guardan relación con el monitoreo del sistema requieren el uso de unidades adicionales, las que estarán dedicadas a una función específica (desconectado por bajo voltaje de carga, etc).

El grado de complejidad del circuito de control determina la calidad de su acción.

Los primeros CdC, los que aún hoy son ofrecidos a la venta, utilizan dos tecnologías: los semiconductores discretos (diodos y transistores) para determinar cuando la acción de control debe tomar lugar, y un componente electromecánico, el relevador (relay, en inglés) para ejercer la acción de control. El resultado es una muy pobre acción reguladora, la que se traduce, de acuerdo con observaciones hechas en varias instalaciones que los usaban, en baterías que son cargadas entre un 50 y un 60% de su capacidad máxima, muchas de ellas con placas sulfatadas.

Como si esto fuere poco, cuando los contactos del relevador se abren, se produce un arco eléctrico, ya que se interrumpe una CC, la que nunca pasa por cero.

Los arcos dañan la superficie del contacto, aumentando su resistencia y disminuyendo rápidamente la vida útil del relevador.

Si un CdC de este tipo va a ser ubicado cerca del banco de acumulación, el relevador debe tener los contactos dentro de una caja hermética, ya que los arcos pueden iniciar la combinación química entre el oxígeno y el hidrógeno que la batería libera al cargarse, la que es altamente explosiva.

Primera mejora

Con la introducción de los semiconductores de potencia, los relevadores fueron reemplazados por componentes de estado sólido (FET de potencia), alargando la vida útil del CdC. Desgraciadamente, la parte de control no cambió, de manera que los nuevos productos no mejoraron la capacidad de carga del banco de baterías.

Modelos recientes

Cuando los microprocesadores bajaron su costo, estos fueron incorporados en el circuito de control. Estos microprocesadores son controlados por programas específicos, llamados algoritmos de carga los que tienen varios pasos (etapas). Los CdC que los usan se

denominan multi-etapas, para distinguirlos de los que no incorporan un microprocesador (controles de una etapa).

Ventajas

El algoritmo de carga permite diseñar un CdC que ofrece una adaptación muy eficaz entre el EdC de la batería y el generador de carga. Otra ventaja adicional es que el microprocesador requiere un bajo consumo y los FETs de potencia, debido a su elevada resistencia de entrada permiten el cierre y apertura del circuito de carga.

Estos dos factores se traducen en CdC que pueden controlar corrientes de decenas de amperes, consumiendo solamente decenas de mA. Por otra parte, la resistencia interna de los FETs de potencia durante el período de conducción es baja, lo que disminuye las pérdidas por disipación interna.

Este es el corazón de los CdC modernos, de manera que solo hablare de las versiones que se ofrecen. Independientemente de cuántas etapas se ofrezcan, los factores considerados en el diseño de las dos primeras es el mismo para todos los fabricantes.

Todos los diseños tienen en cuenta la necesidad de cargar al banco de baterías lo más rápido posible, ya que la duración del día solar promedio es limitada. La alta cantidad de iones libres presentes en la solución electrolítica cuando la batería está descargada, hace posible acelerar al comienzo el proceso de carga. Se consigue así una carga bruta substancial (bulk charge, en inglés) durante las primeras horas del día.

La implementación del proceso de carga es la misma para todos los fabricantes y consiste en elegir un voltaje de referencia lo suficientemente alto como para asumir que cuando el voltaje de batería alcanza ese valor, el EdC es cercano al 80% del máximo. Durante este período la corriente de carga tiene un valor igual al máximo que el sistema puede entregar en un dado instante. Al respecto, debe tenerse en cuenta que los paneles solares no proporcionan una corriente constante durante el día, ya que el máximo valor sólo se alcanza cuando el sol llega al zenit. A partir de este punto, su valor disminuye constantemente.

Las diferencias entre diferentes modelos tienen que ver con detalles como:

- ❖ El valor elegido para el voltaje de referencia.
- ❖ La posibilidad de alterar (o no), manualmente, el valor del voltaje de referencia.

Cuando el voltaje de batería iguala al de referencia, a veces con un error entre 20 y 30 mV el circuito de control inicia la segunda etapa.

Todos los fabricantes reconocen la necesidad de desacelerar el proceso de carga, ya que el EdC de la batería es lo suficientemente alto como para asumir que la cantidad de iones libres ha amenguado, y seguirá amenguándose durante esta etapa. Se hace necesario

disminuir, paulatinamente, el valor de la corriente de carga. A esta etapa se la denomina de absorción (absorption stage, en inglés).

Algoritmos para la segunda etapa

Cómo llevar a cabo la disminución de la corriente durante esta etapa, es lo que diferencia a un modelo del otro.

Una solución es mantener el valor del voltaje usado como referencia en la primera etapa. Como la diferencia entre el voltaje de batería y el del generador de carga disminuye constantemente, la corriente de carga se reduce paulatinamente.

La otra solución consiste en disminuir la corriente de carga usando un generador de carga pulsante, de amplitud constante (valor de referencia) y tiempo de conducción variable. Este tipo de generador se conoce, en inglés, con la abreviatura PWM (anchura de pulso modulada).

Durante esta etapa los incrementos en el voltaje de batería se traducen en reducciones en el tiempo de conducción, disminuyéndose así el valor de la corriente de carga.

La duración de la segunda etapa está determinada por el algoritmo de carga y no por un voltaje de referencia. Al terminar esta etapa el fabricante estima que la batería está cargada, interrumpiéndose el proceso de carga.

Cuando una batería permanece en reposo, su voltaje disminuye lentamente. Es por ello que los CdC de dos etapas ofrecen dos opciones al terminar la segunda etapa:

- El reinicio automático de la carga o
- La posibilidad de ecualizar las baterías.

Reinicio automático

Cuando el valor del voltaje de batería decrece por debajo de un segundo voltaje de referencia, llamado voltaje de reinicio (re-starting voltage, en inglés), el ciclo de dos etapas se repite automáticamente.

Ecualización

Como alternativa al reinicio automático, estos CdC ofrecen la posibilidad de elegir una tercera etapa: la de ecualización. Esta opción permite a los fabricantes de estos modelos considerarlos como CdC de tres etapas, aún cuando la etapa de ecualización no constituye una extensión del proceso de carga. El proceso de ecualización puede trabajar, a elección, en forma automática o manual.

Es importante observar que la corriente de ecualización usada en estas unidades no es excesiva, ya que el proceso usa un voltaje de sólo 1 V por sobre el de referencia (sistemas de 12V). Esto evita una excesiva gasificación del electrolito.

En estos modelos la etapa optativa de ecualización no existe. En su lugar el algoritmo de carga convierte al generador de carga en un generador del tipo PWM, como he descrito anteriormente.

En esta etapa el valor del voltaje del generador disminuye (2V en sistemas de 12V; 4 en sistemas de 24V) con respecto al de referencia de la etapa anterior.

Este voltaje, llamado de flotación, debe disminuir porque la cantidad de iones libres en el electrolito es muy escasa, evitándose así una excesiva e innecesaria gasificación del electrolito.

La sigla inglesa MPPT (Maximum Power Point Tracking) significa: seguidor del punto de potencia máxima. El “punto” al que se hace mención es el que corresponde a los valores óptimos para el voltaje y corriente de salida que proporcionan la máxima potencia de salida. Como vimos al tratar los paneles FVs, ese punto varía con la temperatura de trabajo del mismo.

La ventaja inmediata es el mayor aprovechamiento de la energía solar, pero otra no obvia, es que este tipo de control permite usar un voltaje de generación más elevado que el nominal del sistema, dado que incorpora un conversor de CC a CC, el que mantiene el voltaje de carga dentro del rango requerido por el voltaje nominal del sistema.

Para ilustrar esta ventaja piense que si tú necesitas dos paneles en un sistema de 12V nominales, puede optar por conectarlos en serie (24 V) y reducir la corriente entre los paneles y el CdC a la mitad, lo que le permitirá usar cables de menor diámetro (y costo).

Si asumimos que las pérdidas del conversor de CC a CC no son elevadas, la potencia de salida del conversor será cercana a la de entrada. Como el voltaje de salida es menor, la corriente de salida debe ser mayor que la de entrada, y por ello este tipo de control incorpora un limitador de corriente, a fin de no sobrepasar la corriente máxima tolerada por las baterías cuando la potencia de entrada sube transitoriamente.

La máxima corriente de carga y el máximo voltaje del sistema son dos criterios obvios de selección pero, como el lector podrá apreciar al tratar el diseño de un sistema, las consideraciones del diseño determinan finalmente el tipo de control a usarse.

Asumiendo que el mercado local ofrece alguna variedad de modelos, el costo inicial de la unidad deberá ser balanceado considerando las características del sistema.

Es imposible describir todos los modelos que se ofrecen a la venta, de manera que he decidido incorporar alguno de ellos para dar idea de la variedad de modelos.

Esta compañía (ex RV Power Products), entre otras, ofrece CdC del tipo MPPT. Su serie Solar Boost™, tiene dos modelos: uno para 25A de carga máxima, y otro para 50 A. La Figura I.32 muestra el modelo para 25A/12V

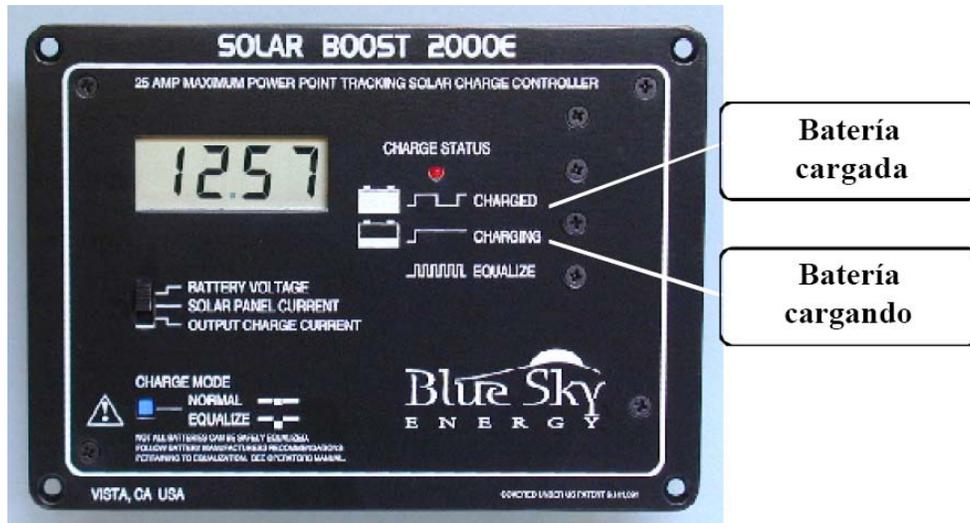


Figura I.32 Solar Boost™ modelo 2000E

Ambos son del tipo serie, tienen entradas para monitorear la temperatura de batería y ofrecen un algoritmo de carga de dos etapas (carga bruta y absorción) más la posibilidad de implementar una etapa de ecualización manual. Como muestra la fotografía, el modelo 2000E tiene un medidor digital, el que permite monitorear varias variables del sistema. El monitoreo se ve complementado por dos indicadores gráficos, iluminados por lámparas LEDs: batería en carga y batería cargada.

Cuando el voltaje de carga disminuye por debajo de un valor mínimo, el generador comienza a buscar el punto de potencia máxima. Estos controles usan FETs de potencia para la función interruptora.

Esta compañía ofrece modelos para corrientes de carga entre 4,5 A (SunGuard™) y 60 A (TriStar™), los que pueden usarse en sistemas con voltajes nominales de 12, 24 y 48 V dependiendo del modelo. Todos los controles son del tipo serie, usan FETs de potencia para abrir o cerrar el circuito de carga y ofrecen la posibilidad de controlar la temperatura del electrolito.

Los algoritmos de carga varían con cada modelo. La mayoría tienen dos etapas de carga más la opción de ecualización, aunque los de mayor corriente ofrecen dos etapas opcionales: ecualización o flotación.

La figura I.33 muestra los CdC manufacturados por esta firma.



Sun Guard (4,5A 12V)

Sun Saver 6,5 o 10A para 12 o 24V



Pro Star (15A o 30A / 12 o 24V)

Tri-Star (45 o 60 A / 12-24-

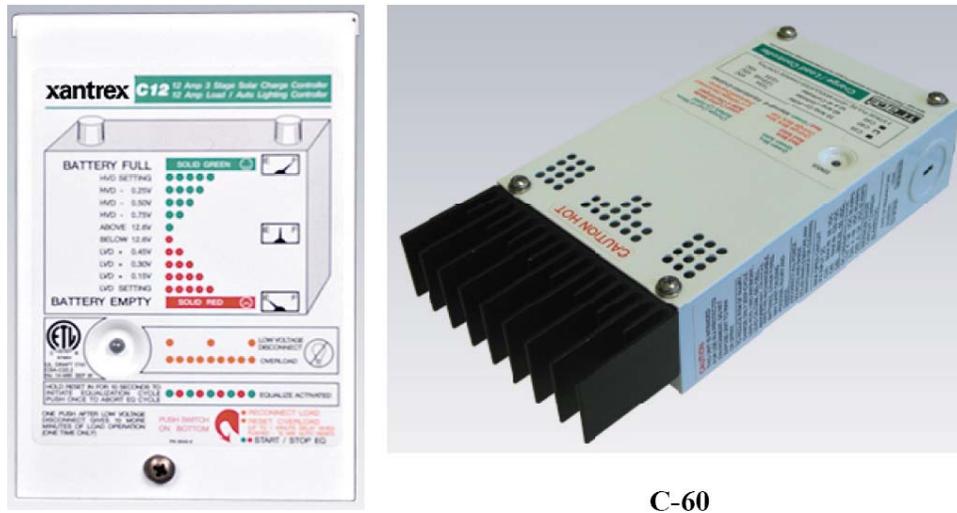
Figura I.33- Modelos ofrecidos por Morningstar™

Esta compañía adquirió otra (Tracer) que se había establecido en el mercado de energía renovable con varios productos, y por eso ofrece una vasta variedad de productos.

Todos los modelos de controles de carga llevan el prefijo C. Analizando las especificaciones, puede observarse que el modelo C-12 ha sido diseñado para ser usado en sistemas FVs de 12V con corrientes de hasta 12A, mientras que los restantes C-35, C-40 y C-60 forman una línea separada, para corrientes medias y elevadas (35, 40 y 60A respectivamente). Estos productos pueden ser seleccionados para trabajar con voltajes de 12 o 24V. El modelo C-40 puede, asimismo, ser usado en sistemas de 48V.

La descripción y especificaciones del modelo C-12 pueden obtenerse, visitando la internet (www.xantrex.com).

Todos los modelos son del tipo serie y los elementos de control en serie usan FETs de potencia. La Figura I.34 muestra dos de los modelos mencionados.



C-12

Figura I.34 Controles de carga Xantrex (serie C)

Eléctricas

Un control de carga:

- Deberá tolerar, con algún margen de exceso, los valores de voltaje y corriente especificados para la unidad.
- Deberá tener protección contra descargas eléctricas.

Mecánicas

Un control de carga:

- Deberá tener una caja con cubierta inoxidable.
- Deberá ofrecer un montaje simple.
- Deberá tener un fácil acceso a los contactos de entrada y salida, ajustes, o puntos de prueba, si estos son parte del diseño.
- Deberá proveer terminales sólidos, resistentes a la oxidación, y con capacidad para conectar cables del diámetro demandado por la corriente máxima del diseño.

Ambientales

Un control de carga:

- Deberá ofrecer un amplio rango para la temperatura de trabajo.

Notas: Los diseños son vulnerables a la alta humedad y temperatura ambiente, de manera que no exceda los límites especificados por el fabricante.

Evite la acción de gases nocivos, como las emanaciones de la batería durante la carga.

Algunos modelos tienen el circuito inmerso dentro de una substancia del tipo acrílico, la que protege los componentes contra la acción ambiental. Por obvias razones, los contactos de amarre para los cables permanecen expuestos.

Costo

El costo de un CdC depende de:

- La máxima corriente de carga que debe controlar.
- Las opciones que se elijan.
- El tipo de monitoreo incorporado en la unidad.

Nota: El número de opciones ofrecidas por el fabricante se incrementa con el valor de la corriente de carga, dado que los sistemas de mayor consumo requieren más salvaguardias.

- Opciones
- Control de temperatura
- Esta opción es muy práctica, y de ser posible, adóptela.
- Ecuilización
- Si no usa un control con tres etapas de carga, elija un CdC con esta opción.
- Otras opciones

Hay opciones que debo considerarlas más adelante, ya que están relacionadas con el tipo de sistema FV (híbridos, de CA, etc).

I.3.6 CABLES DE CONEXION

La selección de los cables de conexión en un sistema de distribución de bajo voltaje (sistema FV), es importante porque:

El nivel de la corriente de carga es elevado.

Estos cables están expuestos a condiciones ambientales extremas (calor, frío, humedad, rayos ultra-violetas, etc), y, en algunos casos, al ataque de roedores.

La caída de voltaje entre la entrada y la salida debe mantenerse baja (entre un 3 y un 4% del valor nominal).

Cuando se instala el cableado de distribución en una casa, la corriente total se divide en varios sectores de carga, de manera que los cables pueden ser dimensionados para corrientes menores que el total dictado por la carga.

Cuando se vinculan los paneles FVs al bloque de carga, la corriente no puede ser dividida, de manera que por estos cables circulará la corriente total del sistema, incluyendo las pérdidas.

En sistemas de 120V de CA, cuando una carga es muy elevada (secadores de ropa o calentadores eléctricos de agua) se tiene el recurso de usar un voltaje más elevado (voltaje entre fases de 208 V), lo que disminuye la demanda de corriente.

Las condiciones ambientales de los cables de distribución domésticos, salvo el calor y la humedad relativa, suelen ser menores que para cables expuestos a la intemperie.

El análisis del cableado de un sistema FV comprende dos aspectos diferentes:

Las características físicas del conductor (metal usado, longitud, y superficie de la sección conductora).

El tipo de aislación requerida por las condiciones de uso.

Las características físicas definen la resistencia eléctrica y mecánica del conductor, los diámetros para varios tipos, así como la variación de la resistencia cuando aumenta la temperatura de trabajo.

El tipo de aislación contempla, para las condiciones ambientales en donde el cable va a ser usado, cual es el material aislante más adecuado.

La resistencia eléctrica de un conductor está dada por la expresión:

$$R (\Omega) = (L * P) / S$$

Donde L es la longitud del conductor (m), P (rho) es la letra griega que representa la resistividad del material ($\Omega.m$) y S la superficie de la sección conductora ($mm^2 = 10^{-6} m^2$). La expresión anterior muestra que la resistencia de un conductor es directamente proporcional al valor de P (metal usado), y su longitud, e inversamente proporcional a la superficie de su sección transversal. Cuando el conductor tiene una sección circular, el valor del área varía con el cuadrado del diámetro, ya que:

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi/4 \cdot D^2$$

donde r es el radio y D el diámetro de la sección circular ($D = 2 \cdot r$).

El valor de P depende no sólo del material usado para fabricar el conductor, pero de la temperatura de trabajo del mismo.

Nota: La gran mayoría de los conductores tienen una sección circular, pero existen asimismo conductores en barra, de sección rectangular o cuadrada.

La Tabla I.7 proporciona los valores de P para los cuatro mejores conductores metálicos, a una temperatura de 20°C.

TABLA I.7
Resistividad en $\Omega \cdot m$ a 20°C

SIMBOLO	METAL	RESISTIVIDAD (x 10 ⁻⁸ $\Omega \cdot m$)
Plata	Ag	1,629
Cobre	Cu	1,724
Oro	Au	2,440
Aluminio	Al	2,828

Como el valor del oro y la plata es muy elevado, el cobre y el aluminio son los metales de mayor interés. De la tabla se deduce que el valor de P a 20°C para el aluminio es 1,64 veces más alto que el del cobre, y de allí que este metal sea el más usado de los dos. Pero la menor resistividad del cobre no es la única característica favorable de este metal, ya que, además:

- ☺ Es fácil de soldar.
- ☺ Tiene un alto valor de tensión mecánica, lo que facilita el proceso de extrusión¹ usado para fabricar alambres redondos y el tendido de cables entre soportes fijos.

Su costo, superior al del aluminio, no ha sido un impedimento que restringiera el alto grado de aceptación alcanzado hasta el presente.

El valor dado por la inversa del valor de P representa la conductividad del material, la que se mide en Siemens ($S_i = 1/\Omega$). La letra griega σ (sigma) se utiliza para identificar este parámetro, de manera que $1/\rho = \sigma$

Notas: En un mercado dominado por el cobre, el uso del aluminio requiere que los contactos de amarre sean tratados para que no se cree una diferencia de voltaje entre el cable (Al) y el terminal (Cu).

Si estos materiales establecen un contacto directo, se creará un par galvánico, y la presencia de la humedad ambiente establecerá una corriente del ánodo (Cu), al cátodo (Al) la que deteriora al metal con menor potencial galvánico² (cátodo de aluminio).

¹ Tirado de una barra a través de varias formas cónicas huecas.

² Tomando al hidrógeno como referencia ($V=0$), se puede medir el potencial galvánico de varios metales. Este valor, para algunos metales, es positivo (ánodos), y para otros, negativos (cátodos).

La resistencia de un conductor a temperaturas superiores a los 20°C (R_t) está dada por la expresión:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha \Delta t)$$

donde R_{20} es la resistencia a 20°C, α es el coeficiente de temperatura por grado °C y Δt es el incremento de temperatura por sobre los 20°C. Para el cobre, el valor de α (0,0043/C) se mantiene constante entre 0 y 100°C.

La expresión (8.3) nos indica que por cada 10°C de aumento en la temperatura del conductor, el producto $\alpha \Delta t$ se incrementa 0,043, lo que representa un 4,3% de aumento para el valor inicial de la resistencia.

En los EEUU al diámetro de un cable conductor se le asigna un número, al que se conoce con la sigla AWG (American Wire Gauge) que significa calibre de cables americano. Originalmente, esta nomenclatura numérica guardó una relación directa con el número de pases que eran requeridos por la barra de cobre a través del orificio de extrusión, para poder obtener un diámetro determinado. Esto explica porqué los diámetros mayores están asociados con los números más bajos. Cuando aparecieron calibres superiores al AWG 1, se debió recurrir a la identificación de los mismos usando un número variable de ceros. Se tienen así los cables 0, 00, 000 y 0000, cada uno de ellos con diámetros cada vez mayores. Estos diámetros suelen ser escritos, en forma abreviada, como 1/0, 2/0, 3/0 y 4/0.

Notas: Muchas de las tablas para cables provienen de los EEUU. En ellas la unidad usada para la longitud es el pie (ft) y el diámetro del conductor suele ser dado en circular mils (milésimas circulares).

Un diámetro de un circular mil corresponde a un conductor cuyo diámetro es de 0,001" (" es la abreviación inglesa para la pulgada). Diámetros superiores a 4/0 están dados en Kcircular mils (1.000 mils).

La Figura I.35 muestra los diámetros relativos (no absolutos) para cables desde el 00 (o 2/0) hasta el número 18.

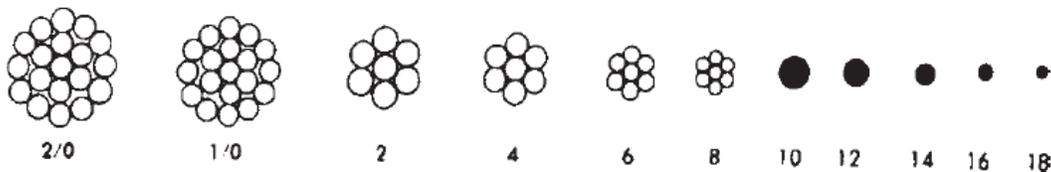


Figura I.35- Diámetros relativos para cables desnudos

La Tabla I.8 resume varios de los parámetros eléctricos y dimensiones para cables desnudos de cobre con diámetros entre AWG 18 y 4/0. Los mayores diámetros son alcanzados agrupando conductores de menor diámetro, lo que permite incrementar la flexibilidad del conductor, ya que los conductores externos podrán deslizarse con respecto a los internos cuando el conductor es curvado. Los conductores multi-cables tienen una menor tendencia a cortarse cuando se los flexiona durante el conexionado, y resultan más

fáciles de manipular.

Notas: Tablas originadas en los EEUU dan los valores para una longitud de 100' (donde es la abreviación inglesa para el pié).

TABLA I.8

Calibre mm ²	Diam. AWG	Area Mm	Resistencia a 20°C ohm/Km	Tipo
18	1,020	0,823	21,8	Sólido
16	1,290	1,310	13,7	Sólido
14	1,630	2,080	8,6	Sólido
12	2,050	3,310	5,4	Sólido
10	2,590	5,260	3,4	Sólido
8	4,775	8,403	2,2	49/25*
6	5,334	13,575	1,5	133/27*
4	6,257	21,587	0,80	133/25*
2	8,331	34,327	0,50	133/23*
1	9,271	43,282	0,40	133/22*
1/0	11,786	54,581	0,31	133/21*
2/0	12,700	68,858	0,25	133/20*
3/0	12,928	84,286	0,20	259/22*
4/0	15,392	106,289	0,16	259/21*

* Estos tamaños son ofrecidos con otras combinaciones de hilos(número y AWG del “strand”).

Cuando se tiene un solo conductor, se habla del alambre de conducción, cuando se tienen varios alambres retorcidos (o paralelos), se habla del cable de conducción. Los cables tienen más flexibilidad que los alambres, como ya se indicó, y se venden con o sin aislación (cables desnudos), dependiendo de la aplicación.

Por ejemplo el típico cable a tierra nunca lleva aislación. La Figura I.36 muestra un alambre y un cable, ambos con aislación exterior.



Figura I.36- Alambre y cable conductor

Debo destacar que los cables son ofrecidos, asimismo, en diámetros pequeños, los que suelen usarse en lugares donde la conexión necesita cierto grado de flexibilidad mecánica. Para estos cables se proporciona no sólo el valor AWG correspondiente a su diámetro, pero dos valores complementarios: la cantidad de alambres usados y el valor del AWG de los mismos. Así, por ejemplo, un cable AWG 26 - 7/34 alcanza su diámetro (AWG 26) usando siete alambres retorcidos de calibre 34. Cada alambre que forma el cable se llama, en inglés, strand (hilo). A un cable de este tipo se lo llama “stranded cable”.

Los materiales aislantes que cubren a los conductores no sólo proveen aislación eléctrica, pero proporcionan protección ambiental y resistencia mecánica a la fricción (tirado de cables dentro de un conducto o expansión y contracción con variaciones de temperatura). Al respecto, cuando la protección mecánica debe mejorarse, se usa una capa adicional, la que se conoce, en inglés, como “jacket”. Nylon suele ser el material más usado para este propósito.

En aplicaciones industriales la aislación debe, a veces, evitar que salte un arco a través de ella, o proveer una protección ambiental contra la acción corrosiva de sustancias químicas (gasolina, aceites, ácidos). En sistemas FVs de bajo voltaje la protección ambiental es la más importante ya que los cables exteriores estarán expuestos a la radiación solar (rayos ultravioletas) así como a altas o bajas temperaturas y/o humedad ambiente.

De ser posible, entierre el cable, a fin de protegerlos de temperaturas extremas.

Para estos casos se requiere una aislación especial, la que se reconoce por las designaciones UF (Underground Feeder), alimentador bajo tierra o SEU (Service Entrance Underground), cable de entrada de servicio bajo tierra.

Otro tipo de cable, usado para interconectar las baterías en un banco de reserva, debido a su flexibilidad y capacidad ampírica, es el cable para máquina de soldar eléctrica, el que se ofrece en AWG 4 o 2 (Battery jumper).

Como era de esperar existen varias marcas de identificación, impresas sobre la superficie aisladora, a intervalos regulares a lo largo del material aislante, que sirven para definir sus propiedades, así como el tipo y número de conductores.

Mencionaré las más comunes.

Voltaje máximo

Este valor puede ser dado en volts de CA, CC o CA/CC. El valor de CA corresponde al valor pico de la onda sinusoidal.

Máxima temperatura

Este valor, dado en general en grados centígrados (°C), representa la máxima temperatura de trabajo que puede soportar el material aislador sin deteriorarse. Este

parámetro, en circuitos FVs, es extremadamente importante, como acabo de indicar.

Los cables modernos soportan fácilmente los 90°C, pero el usado para instalaciones hogareñas de 120V, conocido como cable ROMEX, sólo tolera los 60°C. Cuando el cable tiene una aislación que tolera los 105°C se lo marca XHHW (XHH = eXtra High Heat), temperatura muy alta.

Material aislante

Con el advenimiento de los materiales plásticos, el algodón impregnado o la goma fueron remplazados por compuestos sintéticos (plásticos), los que ofrecen características especiales, ya sea para resistir agentes corrosivos, altas temperaturas y humedad ambiente, o altos voltajes de aislación.

Para indicar el tipo o propiedad de estos materiales, se utilizan letras que corresponden, en general, a la primera letra de una palabra inglesa asociada con esa característica. Por ejemplo, la letra T significa termoplástico (Thermoplastic).

La Tabla I.9 da una lista de las más comunes.

TABLA I.9
Tipos de aislaciones

T	(Thermoplastic)	Material termoplástico
H	(Heat resitant)	Resistente al calor (heat).
W	(Weather-resistant)	Resistente a la humedad.
A	(Asbestos)	Asbesto. Este material está prohibido en la actualidad.
M	(Mineral oil)	Resistente a los aceites.
N	(Nylon)	Cubertura exterior de nylon.
NM	(Non-Metalic)	Cubertura exterior de nylon (no metálica).
R	(Rubber)	Goma.
S	(Silicon rubber)	Goma siliconada.
FEP	(Teflon)	FET y TFE representan dos formulaciones del Teflon
TFE	(Teflon)	Cloruro de polivinilo.
PVC	(Polyvinyl Chloride)	Cables que permiten ser enterrados bajo tierra.
UF/USE	(Underground Feeder/ Underground Service Entrance)	

El PVC es sin duda el más usado por su alta resistencia a las temperaturas y voltajes de aislación (600 V/1.500°C, así como a la humedad ambiente.

Nota: Los negocios especializados en vender componentes y cables para la industria

renovable ofrecen cables para altas temperaturas y con protección contra la radiación ultravioleta.

Ejemplos de marcaciones

1. La cubierta tiene la marcación THWN.

Esto indica que se ha usado un material termoplástico para la cubierta aislante (T), la que es resistente al calor (H) y la humedad ambiente (W) y tiene una cubierta exterior de nylon (N). Los límites de temperatura y humedad están dados en las especificaciones del producto, aunque es común que haya una segunda marcación con el máximo para la temperatura de trabajo.

2. La cubierta tiene la marcación 12/3W/G NM.

Esto indica que dentro de una aislación no metálica (NM) hay tres cables AWG12 (12/3), uno de ellos siendo el de tierra (W/G) (with ground) el que no tiene aislación.

3. La cubierta tiene la marcación 4/0-3 SEU.

Esto significa que dentro de la aislación hay tres cables AWG4/0 y que su aislación permite enterrarlo bajo tierra. Usualmente un metro, más hondo si el clima es muy frío, para evitar la zona de congelación.

Las tablas para conductores suelen agregar, para cada valor de AWG el de la ampericidad, o máximo valor para la corriente que puede circular por el mismo.

Las normas eléctricas de los EEUU definen a la ampericidad como el máximo valor de la corriente que puede sostener el conductor, en forma continua (o con breves intermisiones) sin dañarse. Esta última condición implica que el límite máximo de temperatura para la aislación usada nunca es sobrepasado.

La definición dada tiene una consecuencia práctica: la temperatura máxima de la aislación, así como el valor de la temperatura ambiente determinan la ampericidad de un alambre o cable de conducción.

La Tabla I.10 proporciona los valores de ampericidad para diferentes tipos de cables y aislaciones, para una temperatura ambiente de 30°C, cuando se tienen hasta tres (3) conductores por conducto o dentro de una aislación. La Tabla I.11 muestra el coeficiente de corrección que deberá aplicarse para temperaturas por debajo o superiores a los 30°C.

TABLA I.10
Valores de Ampericidad a 30°C en Amperes

AWG	Máxima Temperatura de la Aislación		
	60°C	75°C	90°C
	Tipos	Tipos	Tipos
	TW UF	RHW THW THWN XHHW USE	FEP FEPB RHH THHN THWN XHHW
14	20	20	25
12	25	25	30
10	30	35	40
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
3	85	100	110
2	95	115	130
1	110	130	150
1/0	125	150	170
2/0	145	175	195
3/0	165	200	225
4/0	195	230	260

Tabla I.11

Rango de Temperatura Ambiente (°C)	Factores de corrección aplicables para cada grupo de aislación de la Tabla IV		
21 - 25	1,08	1,05	1,04
26 - 30	1,00	1,00	1,00
31 - 35	0,91	0,94	0,96
36 - 40	0,82	0,88	0,91
41 - 45	0,71	0,82	0,87
46 - 50	0,58	0,75	0,82
51 - 55	0,41	0,67	0,76
56 - 60	NU	0,58	0,71
61 - 70	NU	0,33	0,58
71 - 80	NU	NU	0,41

NU: No Usable a esta temperatura ambiente

I.3.7 COMPONENTES AUXILIARES

Hasta este momento he analizado los diferentes bloques que componen un sistema FV de CC, haciendo especial hincapié en el componente eléctrico que define un bloque en

particular, como los paneles FVs (bloque generador), la batería solar o el control de carga (bloque acumulador), o los cables de conexión (bloque de distribución).

Es obvio que estos elementos deben integrarse **eléctrica y mecánicamente** entre sí para que el sistema pueda trabajar adecuadamente. Ejemplos: los paneles FVs necesitan sostenes mecánicos, ya que deberá optimizarse el ángulo de inclinación; el banco de baterías necesita tener protección ambiental, ya que el rendimiento y vida útil de las baterías varía con la temperatura del electrolito; el circuito debe tener componentes de protección (fusibles), para evitar la destrucción total o parcial de componentes del sistema.

Al distribuirse la energía eléctrica a la carga (casa habitación) se necesita un centro de distribución que separe las cargas dentro del hogar y sirva para aislar a éstas del voltaje de entrada, lo que facilita cualquier reparación. Dentro del hogar se necesitarán tomacorrientes, llaves interruptoras y enchufes eléctricos, para poder distribuir, controlar o conectar la energía eléctrica a una carga que no es constante (luces, TV, radio, etc). Vemos entonces que la selección de estos elementos auxiliares es tan importante en la práctica como la selección de un panel generador o una batería.

En esta parte se describen varios componentes auxiliares básicos, dejando para más adelante la introducción de otros que dependen enteramente del tipo de sistema FV a construirse.

El grado de complejidad de un Centro de Distribución (**CdD**) de cargas depende del tipo de voltaje que se usa (CC o CA), y la magnitud de la carga (consumo). Un CdD cumple tres funciones básicas:

- ◆ Interrumpir a voluntad, el voltaje de entrada al mismo.
- ◆ Dividir el valor de la corriente de carga total en secciones, independizando un grupo de cargas de las restantes.
- ◆ Proteger cada sección por separado, incorporando una caja de fusibles o fusibles térmicos, como se describirá más adelante.

> Una interrupción voluntaria de la entrada facilita hacer las reparaciones en el circuito de carga.

> Al disminuir la corriente por sección se pueden utilizar cables de menor calibre en cada una de ellas, los que no sólo son más *económicos, pero más fáciles de instalar y conectar*.

> El uso de fusibles para cada sección facilita no sólo el servicio, pero evita que el usuario se quede sin energía eléctrica en toda la casa cuando se produce un desperfecto.

Un CdD con el que el lector puede estar familiarizado es el usado en una casa conectada a una red eléctrica comercial de CA, que siga las recomendaciones de los códigos eléctricos más modernos. Este centro tiene una llave maestra que interrumpe el voltaje de entrada y usa fusibles térmicos (fusibles no destructibles) para proteger las diversas secciones de alimentación. En este CdD puede obtenerse salidas monofásicas (120V) y trifásicas (230V).

En sistemas FVs que alimentan cargas de CA el voltaje monofásico es el común, ya que proviene de la salida de un inversor. Sistemas más complejos suelen usar un CdD que consiste de una caja metálica con puerta, la que está diseñada para facilitar el montaje e

interconexión de los componentes auxiliares, así como los de monitoreo. Estas cajas proporcionan protección ambiental.

La Figura I.37 muestra un centro de distribución de cargas manufacturado por la compañía Square D de los EEUU, el que está diseñado para trabajar con voltajes de CA o CC. El modelo ilustrado puede usarse en circuitos de hasta 48VCC.



Figura I.37- Centro de distribución modelo QO (Square D Corp)

La puerta exterior tiene una cerradura. Al ser abierta, se advierte que los conectores internos están protegidos por una chapa metálica, para evitar que el usuario toque, accidentalmente, el cableado interno.

Para tener acceso a las llaves desde el exterior, el fabricante provee partes rectangulares removibles (*knock outs*), los que se ilustran en la Figura I.38a. La Figura I.38b muestra dos tamaños diferentes de terminales para cables y la Figura I.38c una típica barra de conexión.



Figura I.38- Knock outs, conectores y barra de conexión (Square D Corp)

La Figura I.39 muestra otro CdD de carga, el que puede acomodar tres fusibles termicos. Esta caja tiene una palanca exterior que actúa sobre una llave interruptora de acción rápida, la que permite desconectar el voltaje de entrada. Los CdD de carga usados en sistemas de CC tienen uno o dos bloques de conexión para el negativo, similares al ilustrado en la Figura I.38c, los que están eléctricamente aislados de la caja metálica.



Figura I.39- Centro de distribución de carga

En sistemas FVs de uno o dos paneles el centro de distribución se reduce a una tabla de madera, bien seca y barnizada, para protegerla de la humedad, en donde se montan los fusibles y la caja de entrada. Este sostén se ubica dentro de la vivienda para proveer protección ambiental.

He mencionado con anterioridad las **fusibles térmicos** Estos interruptores actúan sin provocar la destrucción física del elemento protector. El circuito puede ser restaurado a mano, después que se ha solucionado el problema que la hizo actuar. El nombre en inglés de este fusible es ***circuit breaker***.

La acción de apertura en algunos modelos es múltiple: de formación mecánica de un par térmico más la acción de una bobina. La Figura I.40 ilustra los detalles internos de un fusible térmico donde el mecanismo de apertura se debe, únicamente, al aumento de la fuerza de atracción ejercida por una bobina, la que normalmente está en equilibrio con la ejercida por un resorte en sentido contrario. Cuando la corriente alcanza el valor de corte, el mecanismo abre el circuito muy rápidamente (60ms max.).

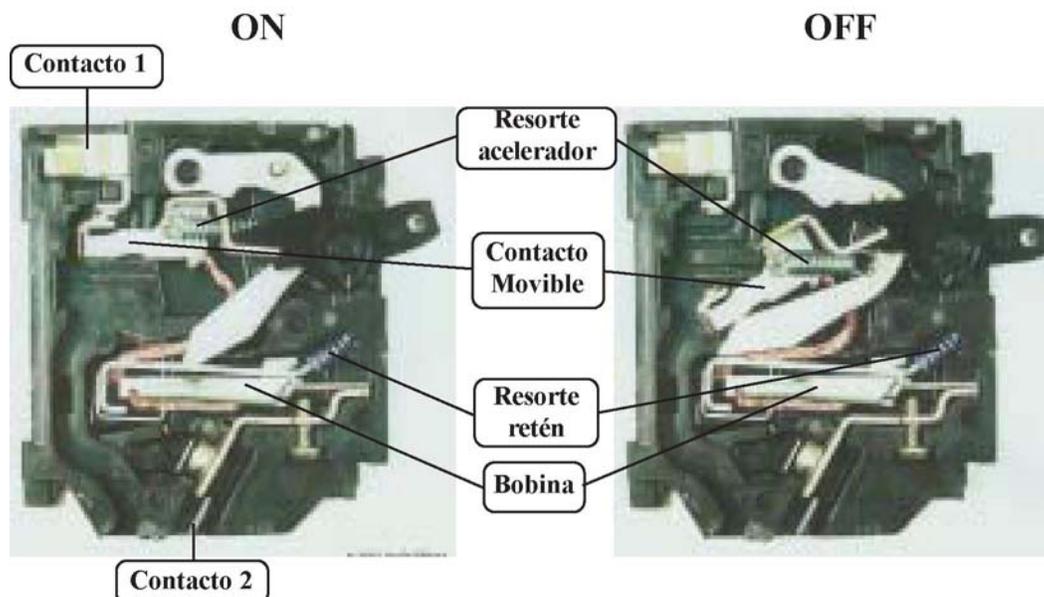


Figura I.40- Llave interruptora automática (*circuit breaker*)

Los contactos (1 y 2) permiten insertarlas, a presión, entre las dos hileras adyacentes de contactos (*buses*, en inglés). Las dos ilustraciones que forman la Figura I.40 corresponden a las posiciones de conectado (On) y desconectado (Off). El gatillo está diseñado para actuar como una palanca al pivotar sobre su eje de sostén, asegurando que el contacto superior se abra. Esta acción es complementada por la acción de un resorte, permitiendo una rápida interrupción.

Existen dos tipos de fusibles térmicos. En uno de ellos la interrupción del circuito es independiente de la posición de la llave externa; en el otro la interrupción del circuito sólo ocurre cuando el fusible está conectada (ON). Este último modelo es el que se usa en los Centros de Distribución de los sistemas FVs.

En este momento una pregunta pertinente es: ¿a quien protege un fusible?. La respuesta depende de la locación del mismo. Si el fusible está en serie con el cableado de uno de los sectores de alimentación de la carga, entonces protege al cable usado en esa sección. Si el fusible está en serie con toda la carga, entonces actúa como protector de último recurso.

La corriente de apertura, para una carga estacionaria, **no debe superar** la máxima tolerada por el AWG del cable. Si el fusible forma parte de un equipo, la corriente de apertura **no debe superar** el valor de la máxima corriente que tolera el mismo. Teniendo en cuenta estos criterios, es fácil elegir la corriente de apertura de un fusible cuando la carga es estacionaria. A continuación veremos que, sin cambiar este valor, pero eligiendo la **rapidez de apertura** más conveniente, podremos acomodar valores transitorios de corriente, los que tienen un valor más elevado.

Dado que la mínima corriente de interrupción para las llaves automáticas es de 10A, los circuitos que consumen por debajo de este valor son protegidos con fusibles destructibles.

Fusibles cilíndricos

La Figura I.41 ilustra este tipo de fusible, así como un típico soporte. Dentro del cuerpo de vidrio el fabricante coloca un alambre que, al alcanzar el valor de corriente de corte se funde, abriendo el circuito. Los terminales metálicos sirven para anclarlos, a presión, a los contactos flexible del sostén. El dibujo mecánico de la Figura I.41 muestra el agujero central que permite atornillar el sostén a un soporte de madera. Los cables de conexión deben ser soldados a los terminales del soporte.

El fabricante marca el amperaje de corte, el máximo voltaje de trabajo y el tipo de fusible sobre las áreas metálicas del fusible. Este tipo de fusible se vende en varios largos, dependiendo de su uso, pero uno de los más comunes es el tipo AGC de $\frac{1}{4}$ "x $1\frac{1}{4}$ ". Tanto los fusibles como los sostenes pueden ser adquiridos en negocios de electrónica o de venta de repuestos para el automotor.



Figura I.41- Fusible cilíndrico y sostén

Los fusibles cilíndricos se ofrecen con una amplia gama de corrientes de corte, desde 1/100A hasta varias decenas de amperes. Otra característica importante es la **rapidez** con que pueden interrumpir un circuito. Los dos tipos de acción (lenta y rápida) se los conoce en inglés como *slow (SB)* y *fast blow (FB)*, respectivamente.

Los primeros (*slow blow*) se usan en circuitos que tienen que soportar un transitorio de corriente **que es normal** para el tipo de carga, como ocurre cuando se arranca un motor eléctrico (pico de corriente al iniciar su rotación). Los más rápidos (*fast blow*) son necesarios cuando la protección requiere una acción inmediata, como en un aparato eléctrico de medición. En estos circuitos no deben existir altos valores de transitorios de carga.

Para ilustrar la diferencia entre el comportamiento de un fusible rápido (*fast blow*) y uno lento (*slow blow*) he incorporado la tabla mostrada a continuación.

Valor nominal de corte A%	Corriente de sobrecarga	Tiempo de Apertura
1/100 - 10	110	4 hrs mínimo
	135	1 hr máximo
	200	FB: 5 seg máx. SB: 5 min máx.

Consideraciones generales

El tipo y número de componentes auxiliares que se usan en este bloque **dependerá del consumo**, ya que éste dicta el número de baterías, el tipo de conexionado del banco de reserva (12, 24 o 48V) y la necesidad de agregar un inversor (CC a CA). La introducción de este componente, a su vez, exige el uso de un control automático de bajo voltaje, el que abre la entrada al inversor cuando este voltaje no alcanza el mínimo permitido por las especificaciones. Es lógico que un mayor consumo requiera componentes auxiliares adicionales, como los de monitoreo, ya que debe resguardarse el mayor costo inicial y de mantenimiento.

Al hablar de los sistemas híbridos, donde se adiciona otro tipo de generador para **incrementar** o **reemplazar** la energía eléctrica que no puede entregar el sistema FV (generador a viento o combustible) se necesitará componentes que aislen eléctricamente un sistema del otro, o conecten automáticamente el generador auxiliar al banco de reserva.

Aún en sistemas de una o dos baterías, dependiendo del tipo que se use, hay detalles que dictan cambios en los componentes auxiliares. Por ejemplo, si el banco de reserva tiene baterías con electrolito líquido, éstas necesitarán ventilación al exterior para no acumular los gases (oxígeno e hidrógeno) generados durante la carga. Si en cambio se usan baterías selladas, la ventilación no es necesaria.

En sistemas de bajo consumo (una o dos baterías) el banco de reserva podrá acomodarse dentro de una caja de madera con aislación térmica. La Figura I.42 da una idea de cómo puede construirse este tipo de caja.

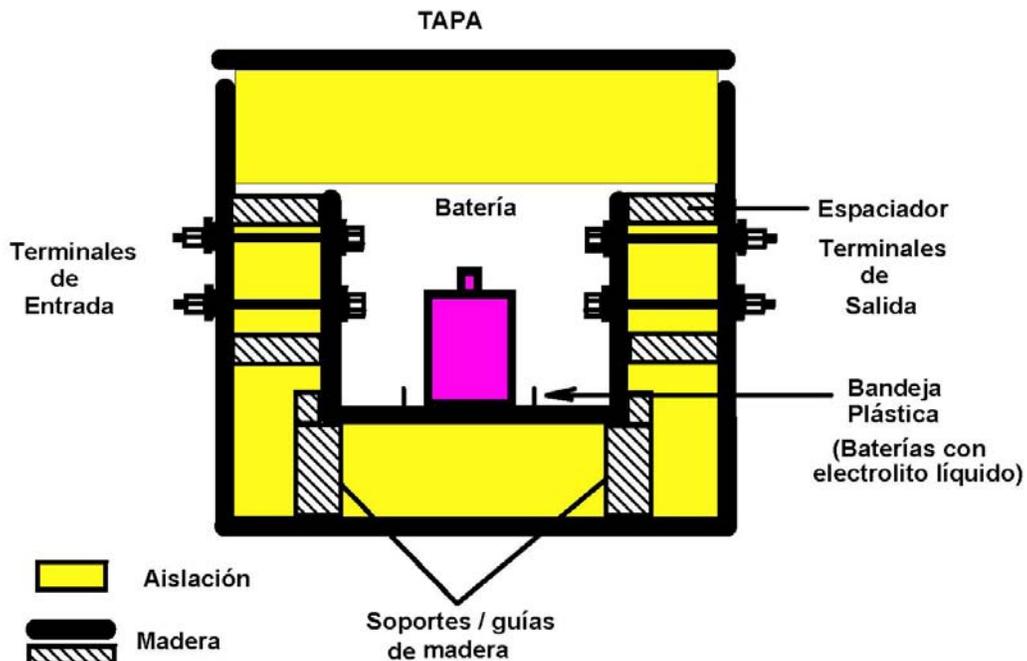


Figura I.42- Sugerencia para una caja de batería aislada

La idea es tener dos cajas, una dentro de otra, separadas unos 5 cm como mínimo. Este espacio se rellena con material aislante. Dependiendo de lo que pueda conseguir localmente, éste podrá ser: espuma esponjosa, la que viene en “sprays“, papel de diario seco cortado en tiras finitas, o material aislante del tipo fibra de vidrio. Si usa el papel o la fibra de vidrio, *evite apelmazarlos*, ya que las burbujas de aire atrapadas dentro del material proveen la aislación térmica.

En el caso de la espuma esponjosa, como ésta se expande unas tres veces en volumen, siempre crea zonas muy pequeñas donde quedan atrapadas burbujas de aire. Al aplicar este material comience con la base y complete el relleno hacia arriba. Con una navaja puede recortar cualquier exceso, de manera de tener bordes planos en donde descansará la tapa. La aislación de la tapa requiere un molde de cartón para contener el material.

Cuando el número de baterías crece, la caja es reemplazada por una estantería. Si usa baterías de electrolito líquido verifique que la separación entre estantes es lo suficientemente amplia como para permitir el uso de un densímetro. Independientemente, asegúrese que tiene suficiente espacio entre estantes para poder ajustar o cambiar los cables de baterías. Recuerde que en sistemas de mayor carga el conexionado entre baterías suele requerir un cableado serie-paralelo para alcanzar el voltaje y corriente demandado por la carga.

La estantería comercial usa metales (hierro o aluminio), los que son tratados contra la acción corrosiva del electrolito, lo que encarece el costo de los mismos. El uso de la madera abarata este costo, pero la protección contra la acción destructiva del ácido del electrolito es inevitable. Para controlar escapes o pequeños derrames, coloque las baterías dentro de bandejas plásticas, como las usadas con el mismo fin en los automotores. De ser posible, use baterías selladas, las que simplifican el problema.

La Figura I.43 muestra una estantería metálica. Existen, asimismo, armarios de baterías.



Figura I.43- Estantería típica para un banco de baterías

Nota: *Instalaciones que tengan un número elevado de baterías necesitarán un cobertizo de protección, el que debe tener aislación ambiental y ventilación al exterior, si ésta es requerida.*

En sistemas de una o dos baterías el control de carga puede compartir el mismo recinto que el de las baterías si se usan las selladas. De lo contrario, es conveniente proteger el control

de carga (CdC) dividiendo la caja en dos secciones. Ambas soluciones simplifican el cableado entre el CdC y el banco de baterías.

Cuando el sistema FV es más complejo (inversor, protector por bajo voltaje de entrada, llaves interruptoras, Centros de Distribución de carga con varias entradas, así como elementos de monitoreo) es conveniente el uso de una caja comercial, con protección ambiental, la que está especialmente diseñada para simplificar el montaje y la interconexión de estos componentes.

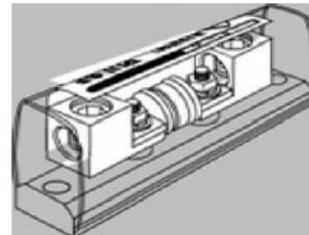
Para facilitar el acceso, esta caja suele ser ubicada en una zona de la casa habitación que normalmente se la utiliza para almacenaje.

Dado que un cortocircuito accidental a la salida del banco de reserva se traduce en una corriente de miles de amperes durante varios segundos, **por razones de seguridad** se debe incorporar un fusible en serie. Niveles tan elevados para la corriente de carga requieren que el fusible de batería sea capaz de interrumpir el circuito **sin que se fundan sus contactos o su sostén**.

Estos requerimientos se logran con los fusibles del tipo T, los que se ofrecen para corrientes de apertura entre 100 y 600 A. La Figura I.44a ilustra un fusible de este tipo, amontillado a su soporte. Este último suele tener una cubierta plástica de protección (Figura I.44b).



a)



b)

Figura I.44 Fusible tipo T para salida de batería

Los paneles FVs necesitan ser colocados sobre soportes rígidos, lo que permite mantener el ángulo de inclinación óptimo, aún cuando soplen vientos fuertes o caigan nevadas. Existen tres tipos:

1. **El soporte fijo**
2. **El soporte ajustable**
3. **El soporte automático**

¿Cuál es el tipo más indicado? La respuesta correcta debe contemplar el **costo máximo para el sistema** y el **incremento porcentual** de energía que se obtendría usando alguno de los otros tipos. La **latitud del lugar** determina el grado de variación entre la posición del sol al amanecer y cuando alcanza el zenit. Si esta variación es extrema y el bloque generador tiene una gran cantidad de paneles, el soporte automático debe ser contemplado en el diseño. Si, por el contrario, la potencia a generarse está por debajo de los 300 a 360W, un panel ajustable será la solución más económica.

Si la variación en la altura del sol es mínima, un panel fijo será suficiente.

Estos soportes son usados en lugares donde la latitud permite elegir un ángulo de inclinación fijo (latitud más 15°) cuyo valor incrementa las horas de generación durante el invierno, cuando el consumo nocturno aumenta, y disminuye la eficiencia de colección durante el verano, cuando los días son más largos.

Las diferencias de diseño y costo entre un soporte fijo y otro ajustable son mínimas, y por ello estos últimos son los más usados. Si el lector puede construirlo, la diferencia de costo se anula. La Figura I.45 muestra varios soportes de este tipo.

Los soportes comerciales están hechos de aluminio, a veces anodizado, a fin de evitar la formación de óxido, y usan ferretería de acero inoxidable para evitar su deterioro por efecto galvánico. Las que facilitan tanto la construcción como el ajuste del ángulo de inclinación. La madera simplifica el problema de la elección de la ferretería, y si se la pinta o barniza puede durar varios años sin problemas.

Notas: *Los cables de salida del (o los) paneles deben tener suficiente “juego” como para permitir el ajuste del ángulo de inclinación dos veces por año. Tenga en cuenta al diseñar su soporte la rigidez requerida para soportar, sin problemas, la máxima velocidad del viento. Recuerde que la superficie de colección es equivalente a la vela de un barco.*



Figura I.45- Soportes ajustables con diferentes anclajes

Este tipo de soporte permite seguir la trayectoria del sol, durante todo el año, desde el amanecer al atardecer. Existen dos tipos:

1. **El seguidor automático pasivo (un eje de rotación)**
2. **El seguidor automático activo (uno o dos ejes de rotación)**

Este tipo se lo conoce como pasivo porque su único movimiento, de este a oeste (movimiento azimutal) no consume energía eléctrica. El desplazamiento azimutal se consigue usando el calor del sol, el que, como veremos a continuación, altera la distribución del peso entre los lados que miran al este y oeste. La Figuras I.46 (a y b) ilustran la construcción de esta unidad, la que posee dos tanques, uno en el lado este; el otro en el oeste, los que están comunicados entre sí. Estos tanques están llenos de una sustancia de bajo punto de ebullición (freón), y tienen placas metálicas que exponen un lado al sol, mientras que, simultáneamente, sombrean al opuesto.

El lado sombreado (frío) conserva al freón en forma líquida. El lado que recibe el calor del sol lo vaporiza. Estos gases se desplazan al lado contrario, donde se condensan, provocando un aumento de peso. El desequilibrio inicia el movimiento azimutal.

Al comienzo del día, el seguidor tiene la posición indicada en la Figura I.46a, la que corresponde al de la noche anterior, y necesita ser “despertado” por el sol saliente para exponer los paneles hacia esa dirección.

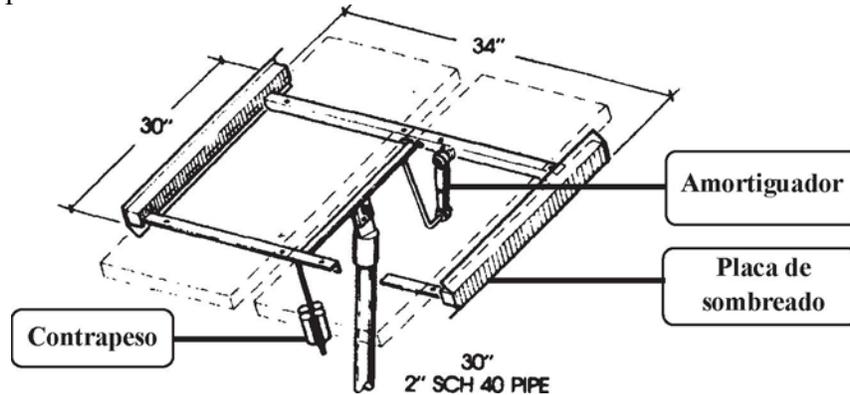


Figura I.46a- Despertando al seguidor (*Zomeworks Corporation*)

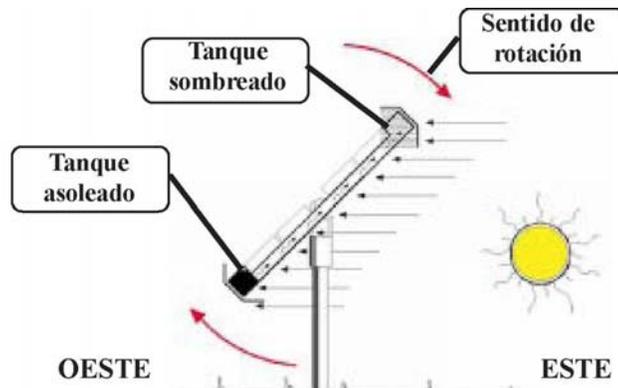


Figura I.46b- Seguidor automático pasivo (*Zomeworks Corporation*)

A partir de ese momento el calor del sol y el sombreado de los tanques permiten que el seguidor siga el movimiento azimutal con relativa precisión.

El tiempo de despertado se alarga en climas fríos y para la versión diseñada para vientos fuertes. Estas unidades tienen amortiguadores para minimizar la acción del viento. La compañía Zomeworks ha sacado una nueva serie, la F, que minimiza el período de espera al amanecer. El ángulo de inclinación se ajusta manualmente.

Este diseño se ofrece en dos versiones: seguidor de un eje y seguidor de dos ejes. Algunos modelos son exclusivamente diseñados para seguir el movimiento azimutal y permiten, como en el anterior, un ajuste manual del ángulo de inclinación. Otros modelos ofrecen la opción de poder incorporar el movimiento de inclinación a posteriori. Por último, los modelos más elaborados incorporan los dos movimientos automáticos.

Esta variedad de modelos permite abaratar los costos cuando no se necesita seguir la altura del sol con precisión. A diferencia del modelo pasivo, los activos utilizan pequeños motores eléctricos (24V), los que están comandados por una unidad de control que actúa respondiendo a la información recogida por el correspondiente censor. Para llevar a cabo el movimiento toman un mínimo de energía (5 Wh/día), ya sea del banco de batería, o de los paneles, según el modelo usado.

La Figura I.47 muestra un seguidor activo de un eje.

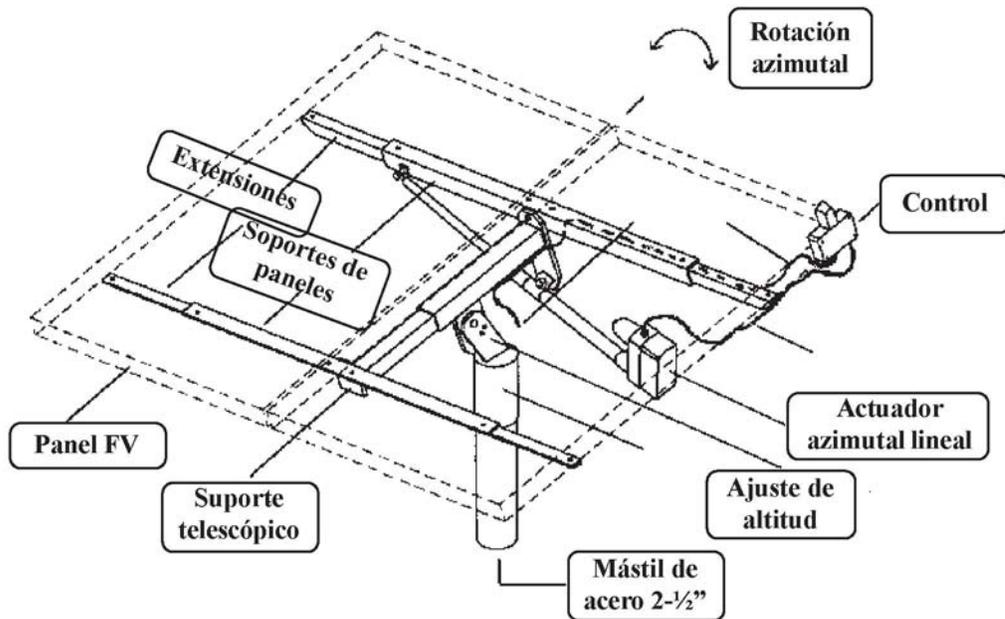


Figura I.47- Seguidor activo Wattsun® (Array Technologies)

SEGUIDOR PASIVO

Menor mantenimiento

SEGUIDOR ACTIVO

Mayor mantenimiento Mayor costo

Menor costo	Seguimiento no susceptible al viento
Seguimiento susceptible al viento	Error de alineamiento*: $\pm 0,5^\circ$
Error de alineamiento*: $\pm 10^\circ$	Grados de variación azimutal: 180°
Grados de variación azimutal: $\sim 90^\circ$	Grados de variación en altura: 75°
Grados de variación en altura: 43°	Uno o dos ejes de seguimiento
Un eje de seguimiento	Construido con aluminio***
Contraído con acero pintado**	No necesita ser despertado
Necesita ser despertado	Consumo máximo: $\sim 5\text{Wh/d}$
No consume energía eléctrica	

* El error representa la desviación angular respecto a la caída vertical de los rayos sobre la superficie colectora.

** Ensamblado en fábrica, es más pesado y voluminoso, pudiendo requerir equipos para levantarlo cuando se usan numerosos paneles.

*** Más liviano. Puede ensamblarse en el lugar de uso, reduciendo el costo de envío e instalación.

La incorporación de un seguidor, independientemente del tipo a usarse, sólo se justifica si existe la posibilidad de incrementar substancialmente (10 - 25%) el valor de energía a generarse usando soportes más económicos.

Si un sistema necesita incrementar el valor de la energía a generarse **adicionando** paneles FVs, deberá tenerse en cuenta que este costo puede aplicarse a la adquisición de un seguidor automático.

Por último, si en una explotación agropecuaria se utiliza el bombeo de agua solar, la extensión del tiempo de bombeo justifica el costo de un seguidor de dos ejes, sobre todo en latitudes donde su introducción puede representar un aumento del 25% para la duración del día solar.

En algunas aplicaciones puede presentarse el requerimiento de tener que encenderse luces de iluminación en forma automática, como en el caso de un cartel de propaganda en una carretera. Para esta aplicación se venden llaves solares automáticas que conectan la carga cuando el sol baja. Un fotoresistor cambia el valor de su resistencia, aumentándola cuando la radiación solar disminuye. El circuito de control utiliza este cambio para actuar sobre un relay, el que conecta la carga. Al día siguiente, al salir el sol, el fotoresistor disminuye su valor resistivo, y el relay abre los contactos.

CAPITULO II LEYES Y REGULACIONES PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

II.1 ANTECEDENTES

NORMATIVA

La normativa se refiere al establecimiento de reglas o leyes, dentro de cualquier grupo u organización. Siempre son necesarias las reglas, leyes y políticas, debido a que debe existir un orden y común acuerdo de los integrantes de los grupos u organizaciones.

Existen áreas dentro de las organizaciones que demandan que se enfoque en concreto a dicha parte del establecimiento de orden y control principalmente en las grandes organizaciones, como lo son las gubernamentales, o las transnacionales o de organismos internacionales.

De antaño sabemos que en las sociedades existen reglas y leyes, seguimos igual hoy en día, pero ahora debemos hacerlo de manera mejorada, incluyendo modelos, métodos, estándares, todo ello dentro una metodología. No debe ser de manera tan empírica a no ser que la visión y alcance del grupo no cuente con mayores conocimientos y recursos.

Se puede referir a la implementación, la aplicación de un conjunto de reglas establecidas en una organización, institución u otros. En tal caso se abundaría sobre ese punto de aplicación en cómo se realiza, lo que entraría en una mezcla de administración pública o privada, con un matiz en su mayoría de tipo social. Evidentemente que para comprender este punto es necesario ver que hay algo de planeación contenida para poder obtener éxito en la aplicación de la norma o normatividad.

Por lo anterior es muy importante conocer también que existe la planeación normativa, que permite la correcta aplicación de las reglas o políticas establecidas en una organización. Pero nuevamente es de vital importancia el resaltar la parte social de lo jurídico, social etc.

LEY

La ley (del latín *lex, legis*) es una norma jurídica dictada por el legislador. Es decir, un precepto establecido por la autoridad competente, en que se manda o prohíbe algo en consonancia con la justicia. Su incumplimiento trae aparejada una sanción.

En otras palabras la ley es una "*norma dictada por una autoridad pública que a todos ordena, prohíbe o permite, y a la cual todos deben obediencia.*".

Las leyes son delimitadoras del libre albedrío de las personas dentro de la sociedad. Se puede decir que la ley es el control externo que existe para la conducta humana, en pocas palabras, las normas que rigen nuestra conducta social. Constituye una de las fuentes del Derecho, actualmente considerada como la principal, que para ser expedida, requiere de autoridad competente, es decir, el órgano legislativo.

REGULACIÓN

La Regulación técnica son normas técnicas obligatorias o voluntarias que exige un país, para la comercialización de determinados productos en su mercado por razones de seguridad para la salud humana, ambiental, animal y vegetal.

Ley de energía solar

Las constantes preocupaciones que las fuentes de energía no renovables provocan en la sociedad actual, ha llevado a los gobiernos de diferentes naciones a promover diversas leyes que fomentan los recursos renovables.

La ley de energía solar puede ser hoy un proyecto que será aprobado en un futuro no muy lejano en todos los países, pero es una realidad en el viejo continente: la energía solar no sólo debe ser aprovechada sino también difundida con el propósito de que los individuos se percaten de la existencia de una fuente inagotable y tan eficiente como las que ya conocemos actualmente.

Nos encontramos ante un preocupante panorama, las tendencias en el aumento de las temperaturas medias en todo el mundo y la crisis climática están tornando sus impactos mucho más gravemente que hace décadas atrás. Uno de los principales responsables de los cambios climáticos se encuentra en el extendido uso de los combustibles fósiles (gas, carbón, petróleo); la ley de energía solar que se desea promulgar de manera obligada en la totalidad de los países trata humildemente de disminuir el consumo energético a base de los derivados de petróleo en un 50%. Luego, con el correr de los años y con el desarrollo de las nuevas tecnologías solares, se tratará de disminuir ese 50% en un 30% y así hasta llegar a un porcentaje nulo. Desde el punto de vista tecnológico, las soluciones ya están disponibles, las energías alternativas que nos permiten reemplazar a los viejos combustibles son conocidas pero no difundidas; la ley de energía solar tiene como objetivo plantar una pequeña semilla en la conciencia de todas las personas para que éstas se vuelquen por los sistemas no contaminantes.

¿Por qué se elige a la energía solar y no a otra?, sencillamente porque la más adecuada para los sistemas urbanos es sin lugar a dudas la energía solar, esto también explica el por qué de una promulgación de una ley de energía solar y que todavía no existan normativas que regulen la producción y distribución de la energía hidráulica. La producción de energía eléctrica a través de los paneles fotovoltaicos en casa y edificios como en zonas rurales permite obtener energía limpia que puede aplicarse tanto como sistema de alimentación eléctrico como para proveer agua caliente sanitaria.

Aunque no existe una ley de energía solar común para toda Latinoamérica, hay naciones que están llevando a cabo proyectos propios, una de ellas es Argentina; en Buenos Aires se distinguen dos tipos de aplicaciones para este tipo de energía: los sistemas aislados y los que están conectados a la red. En el primer caso estamos hablando de instalaciones que generan energía solar para viviendas, escuelas u otras dependencias que no están conectadas a una red eléctrica. Los sistemas que van conectados a redes hacen referencia a instalaciones que interactúan a través de un inversor, por lo que no se requiere almacenar energía debido a que la continuidad del suministro está asegurada. La ley de energía solar reglamenta el uso de los sistemas fotovoltaicos integrados a la red en la Ciudad de Buenos Aires, permitiendo así, que se genere energía limpia para toda la ciudad. Los sistemas implantados en esta ciudad poseen un medidor bidireccional que contabiliza tanto la energía que el usuario consume del sistema eléctrico convencional como la cantidad de energía excedente que las instalaciones solares generan. La ley de energía solar no se ha promulgado desde hace mucho tiempo, pero esto no implica que los porteños no hayan mostrado interés por aprovechar las fuentes de energía limpia.

En Abril del año 2001, aunque todavía no existía ninguna ley de energía solar promulgada, la ya conocida ONG Greenpeace colocó una instalación fotovoltaica obteniendo resultados más que positivos. Dicho proyecto fue tomado como “piloto” y estuvo bajo la supervisión del Ente Nacional Regulador de la Electricidad; desde que el panel fue situado jamás fue removido o reparado, funciona desde entonces sin inconvenientes. Esta idea es la que se desea transmitir a los demás países latinos, el problema aquí es contar con empresas que se dediquen a fabricar los paneles y dispositivos solares, de lo contrario, los proyectos jamás progresarán.

En lo relacionado a legislaciones a favor de la energía solar se pueden citar la de Estados Unidos como una de las primeras, las de casi toda Europa que siguen teniendo un rápido establecimiento con lo referente a las nuevas tecnologías y apoyos para fomentarla, la de Japón, Canadá y Australia que son de las que más están apostado por ella. En nuestro país se está tomando en serio esto de las energías renovables ya en el 2005 se creó la ley aunque algo joven está tratando de dar los primeros pasos en dirección de las necesidades que otros países ya vieron.

II.1.1 ENERGÍA ELÉCTRICA

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (cuando se les coloca en contacto por medio de un conductor eléctrico) para obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica.

Su uso es una de las bases de la tecnología utilizada por el ser humano en la actualidad.

La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

Cada vez que se acciona un interruptor, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través del cable conductor. Las cargas que se desplazan forman parte de los átomos que se desea utilizar, mediante las correspondientes transformaciones; por ejemplo, cuando la energía eléctrica llega a un motor, se convierte en energía mecánica, a una resistencia calórica y en algunos casos luminosa cuando se pasa por la resistencia de un foco.

La generación de energía eléctrica se lleva a cabo mediante técnicas muy diferentes. Las que suministran las mayores cantidades y potencias de electricidad aprovechan un movimiento rotatorio para generar corriente continua en un dinamo o corriente alterna en un alternador. El movimiento rotatorio resulta a su vez de una fuente de energía mecánica directa, como puede ser la corriente de un salto de agua, la producida por el viento, o a través de un ciclo termodinámico. En este último caso se calienta un fluido, al que se hace recorrer un circuito en el que mueve un motor o una turbina. El calor de este proceso se obtiene mediante la quema de combustibles fósiles, reacciones nucleares y otros procesos.

La generación de energía eléctrica es una actividad humana básica, ya que está directamente relacionada con los requerimientos actuales del hombre. Todas las formas de utilización de las fuentes de energía, tanto las habituales como las denominadas alternativas o no convencionales, agreden en mayor o menor medida el ambiente, siendo de todos modos la energía eléctrica una de las que causan menor impacto.

La energía eléctrica se crea por el movimiento de los electrones, para que este movimiento sea continuo, tenemos que suministrar electrones por el extremo positivo para dejar que se escapen o salgan por el negativo; para poder conseguir esto, necesitamos mantener un campo eléctrico en el interior del conductor (metal, etc.). Estos aparatos construidos con el fin de crear electricidad se llaman generadores eléctricos. Claro que hay diferentes formas de crearla, eólicamente, hidráulicamente, de forma geotérmica y muchas más.

II.1.2 FORMAS DE GENERACION ELECTRICA

Actualmente la energía eléctrica se puede obtener de distintas maneras:

1. Energía termoeléctrica o térmica a través de Centrales termoeléctricas
2. Centrales hidroeléctricas
3. Centrales geo-termo-eléctricas
4. Energía Nuclear a través de Centrales nucleares
5. Centrales de ciclo combinado
6. Centrales de turbo-gas
7. Centrales eólicas
8. Centrales solares
9. Centrales de cogeneración

Energía termoeléctrica

Se denomina energía termoeléctrica a la forma de energía que resulta a partir de la energía liberada en forma de calor aprovechada para mover un alternador y producir energía eléctrica.

Las plantas que generan energía de esta forma son llamadas termoeléctricas, una central termoeléctrica o central térmica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Este tipo de generación eléctrica es contaminante pues libera dióxido de carbono.

Por otro lado, también existen centrales termoeléctricas que emplean fisión nuclear del uranio para producir electricidad. Este tipo de instalación recibe el nombre de central nuclear.

Centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es aquella que genera energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda.

En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador el cual la convierte en energía eléctrica.

La energía hidráulica es puesta a disposición por la naturaleza gracias al Ciclo hidrológico, el cual es monitorizado por la energía solar, comenzando por la evaporación de diversas masas de agua y culminando con la Precipitación (meteorología). Las formas más frecuentemente utilizadas para explotar esta energía:

El principio fundamental de esta forma de aprovechamiento hidráulico de los ríos se basa en el hecho de que la velocidad del flujo de estos es básicamente constante a lo largo de su cauce, el cual siempre es cuesta abajo. Este hecho revela que la energía potencial no es íntegramente convertida en cinética como sucede en el caso de una masa en caída libre, la cual se acelera, sino que ésta es invertida en las llamadas 'perdidas, es decir, la energía potencial se "pierde" en vencer las fuerzas de fricción con el suelo, en el transporte de partículas, en formar remolinos, etc.. Entonces esta energía potencial podría ser aprovechada si se pueden evitar las llamadas pérdidas y hacer pasar al agua a través de una turbina. El conjunto de obras que permiten el aprovechamiento ya descrito reciben el nombre de central hidroeléctrica (presas).

Este método consiste en la construcción de una presa que retenga el cauce de agua causando un aumento del nivel del río en su parte anterior a la presa, el cual podría eventualmente convertirse en un embalse. El dique establece una corriente no uniforme y modifica la forma de la superficie libre del río antes y después de éste que toman forma de las llamadas *curvas de remanso*. El establecimiento de las curvas de remanso determina un nuevo salto geodésico aprovechable.

Centrales geo-termo-eléctricas

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que caben destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc. Geotérmico viene del griego *geo*, "Tierra", y *thermos*, "calor"; literalmente "calor de la Tierra"

Energía Nuclear

La energía nuclear es la energía que se libera espontánea o artificialmente en las reacciones nucleares. Sin embargo, este término engloba otro significado, el aprovechamiento de dicha energía para otros fines como, por ejemplo, la obtención de energía eléctrica, térmica y/o mecánica a partir de reacciones nucleares, y su aplicación.

Los dos sistemas más investigados y trabajados para la obtención de energía nuclear aprovechable de forma masiva son la fisión nuclear y la fusión nuclear. La energía nuclear puede transformarse de forma descontrolada, como en el interior de las estrellas, dando lugar al armamento nuclear; o controlada en reactores nucleares en los que se produce energía eléctrica, energía mecánica o energía térmica. Tanto los materiales usados como el diseño de las instalaciones son completamente diferentes en cada caso.

Otra técnica, empleada principalmente en pilas de enorme duración para sistemas que requieren poco consumo eléctrico, es la utilización de generadores termoeléctricos de radioisótopos (GTR, o *RTG* en inglés), en los que se aprovechan los distintos modos de desintegración para generar electricidad en sistemas de termopares a partir del calor transferido por una fuente radiactiva.

La energía desprendida en esos procesos nucleares suele aparecer en forma de partículas subatómicas en movimiento. Esas partículas, al frenarse en la materia que las rodea, producen energía térmica. Esta energía térmica se transforma en energía mecánica utilizando motores de combustión externa, como las turbinas de vapor. Dicha energía mecánica puede ser empleada en el transporte, como por ejemplo en los buques nucleares; o para la generación de energía eléctrica en centrales nucleares.

La principal característica de este tipo de energía es la alta cantidad de energía que puede producirse por unidad de masa de material utilizado en comparación con cualquier otro tipo de energía conocida por el ser humano.

Centrales de ciclo combinado

Se denomina ciclo combinado en la generación de energía a la co-existencia de dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema, uno cuyo fluido de trabajo es el vapor de agua y otro cuyo fluido de trabajo es un gas producto de una combustión.

En una central eléctrica el ciclo de gas genera energía eléctrica mediante una turbina de gas y el ciclo de vapor de agua lo hace mediante una o varias turbinas de vapor. El principio sobre el cual se basa es utilizar los gases de escape a alta temperatura de la turbina de gas para aportar calor a la caldera o generador de vapor de recuperación, la que alimenta a su vez de vapor a la turbina de vapor. La principal ventaja de utilizar el ciclo combinado es su alta eficiencia, ya que se obtienen rendimientos superiores al rendimiento de una central de ciclo único y mucho mayores que los de una de turbina de gas.

Las centrales de ciclo combinado son, como todas ellas, contaminantes para el medio ambiente y para los seres vivos, incluidas las personas, por los gases tóxicos que expulsan al ambiente. No obstante es la que menos contamina de todas las industrias de producción de electricidad por quema de combustible fósil. Básicamente las emisiones son de CO₂. Las emisiones de NO_x y SO₂ son insignificantes, no contribuyendo por tanto a la

formación de lluvia ácida. Dependiendo estos efluentes gaseosos del tipo de combustible que se queme en la turbina de gas.

Centrales de turbo-gas

Una turbina de gas, es una turbomáquina motora, cuyo fluido de trabajo es un gas. Como la compresibilidad de los gases no puede ser despreciada, las turbinas a gas son turbomáquinas térmicas. Comúnmente se habla de las turbinas a gas por separado de las turbinas ya que, aunque funcionan con sustancias en estado gaseoso, sus características de diseño son diferentes, y, cuando en estos términos se habla de gases, no se espera un posible cambio de fase, en cambio cuando se habla de vapores sí.

Centrales eólicas

Energía eólica es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

El término *eólico* viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.

Centrales solares

Una central térmica solar o central termosolar es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica como en una central térmica clásica.

Constructivamente, es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 ° C hasta 1000 ° C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica. El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina heliostato.

Centrales de cogeneración

La cogeneración es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria, hielo, agua fría, aire frío, por ejemplo).

La ventaja de la cogeneración es su mayor eficiencia energética ya que se aprovecha tanto el calor como la energía mecánica o eléctrica de un único proceso, en vez de utilizar una central eléctrica convencional y para las necesidades calor una caldera convencional.

Al generar electricidad mediante una dinamo o alternador, movidos por un motor térmico o una turbina, el aprovechamiento de la energía química del combustible es del 25% al 40% solamente, y el resto debe disiparse en forma de calor. Con la cogeneración se aprovecha una parte importante de la energía térmica que normalmente se disiparía a la atmósfera o a una masa de agua y evita volver a generarla con una caldera. Además evita los posibles problemas generados por el calor no aprovechado.

II.2 Requisitos del NEC y de UL

Introducción

A medida que la industria de energía fotovoltaica (FV) alcanza una posición destacada en la generación de energía eléctrica, algunos cuestionan los requisitos, aparentemente conservadores y redundantes, establecidos por Underwriters Laboratories (*UL*) y el *Código Eléctrico Nacional (NEC)*, para la seguridad del sistema y de la instalación. Este breve discurso intentará tratar estos asuntos y destacar los aspectos de los sistemas FV que mandan los requisitos.

El *Código Eléctrico Nacional (NEC)* está escrito con el requisito de que todos los equipos e instalaciones cumplan con las normas de seguridad de la autoridad que tenga jurisdicción (AHJ) para reforzar los requisitos del *NEC* en un lugar concreto. La AHJ en seguida admite que no dispone de recursos para verificar la seguridad del equipo en cuestión y confía exclusivamente en el ensayo y la homologación del equipo llevados a cabo por un laboratorio de ensayos independiente como Underwriters Laboratories (*UL*). La AHJ también confía en los requisitos del cableado especificados en el *NEC*, para garantizar instalaciones seguras y el uso de equipo homologado.

Los estándares publicados por *UL* y el material del *NEC* son aceptados por ingenieros y técnicos de la industria de material eléctrico, profesionales de la construcción eléctrica, laboratorios nacionales, comunidad científica y asociaciones de inspectores eléctricos. Los estándares *UL* son de origen técnico, con requisitos muy específicos para la construcción y ensayo de equipos, por motivos de seguridad. A su vez, están coordinados con los estándares de construcción publicados por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). El *NEC* no está escrito de forma intencionada en un lenguaje técnico, para que los electricistas, contratistas eléctricos e inspectores eléctricos, lo entiendan y apliquen fácilmente.

El uso de equipo homologado (por *UL* u otro laboratorio) asegura que el equipo reúne unos estándares de seguridad bien establecidos. La aplicación de los requisitos del *NEC* asegura que el cableado de los equipos es el adecuado y que se usan de forma que el sistema está prácticamente libre de riesgos. El uso de equipos homologados y la instalación de equipos de acuerdo con las exigencias del *NEC*, contribuyen en gran medida, no sólo a la seguridad del sistema, sino también a su durabilidad, rendimiento y tiempo de vida.

Áreas Discutidas

El *NEC* no presenta muchas especificaciones técnicas muy detalladas. Por ejemplo, el término “valor de salida” se utiliza en varios casos con respecto al equipo FV. No se especifican las condiciones bajo las que se determina la medida. Las definiciones de las condiciones de medida (como las Condiciones Normales de Ensayo (STC) para módulos FV) figuran en los estándares *UL* que establecen el valor de salida. Este procedimiento es apropiado debido al nivel de escritura del *NEC* y a la falta de equipos de ensayo al alcance del usuario del *NEC*.

Estándares *UL*

El estándar *UL* 1703 exige que las instrucciones de los módulos FV homologados contengan requisitos específicos para la instalación de dichos módulos. El valor (en Condiciones Normales de Ensayo) de tensión a circuito abierto y el valor de la corriente de cortocircuito de los módulos FV cristalinos, han de multiplicarse por factores del 125% antes de realizar los cálculos para los conductores y los limitadores de corriente.

El factor de 125% en la tensión a circuito abierto (V_{oc}) es necesario porque, a medida que la temperatura de funcionamiento del módulo disminuye, V_{oc} aumenta. El valor de V_{oc} se mide a una temperatura de 25°C y aunque la temperatura de funcionamiento es de 40-50°C cuando la temperatura ambiente ronda los 20°C, no hay nada que impida que temperaturas ambiente bajo cero, den lugar a temperaturas de funcionamiento muy por debajo de la condición normal de ensayo de 25°C.

Un módulo de silicio cristalino típico tiene un coeficiente de tensión de $-038\%/^{\circ}\text{C}$. Un sistema con un valor de tensión a circuito abierto de 595 voltios a 25°C podría estar expuesto a temperaturas ambiente de -30°C . Los conductores e interruptores de 600 voltios pueden manejar esta tensión (595). Al amanecer y al anochecer, el módulo puede estar a una temperatura ambiente de -30°C y no experimentar ningún calentamiento; pero puede generar tensiones a circuito abierto de 719 voltios ($595 \times (1+(25+30) \times 0.0038)$). Esta tensión supera en gran medida la capacidad de los conductores, fusibles, interruptores y demás equipos especificados para 600 voltios. La posibilidad muy real de este tipo de condiciones justifica el requisito *UL* del factor de 125% en el valor de la tensión a circuito abierto.

El estándar *UL* 1703 también exige que el valor (en STC) de la corriente de cortocircuito del módulo FV se multiplique por el 125% antes de aplicar otros factores como los del *NEC*. Este factor *UL* es para proporcionar un margen de seguridad para el tamaño de los

cables y limitadores de corriente cuando la irradiación supera el estándar de 1000 W/m₂. Según la estación, las condiciones del clima local y el polvo y la humedad en la atmósfera, la irradiación supera los 1000 W/m₂ cada día en torno al mediodía. Puede haber un período de tiempo tan largo como 4 horas, con valores de irradiación cercanos a 1200 W/m², dependiendo de nuevo de las condiciones mencionadas anteriormente y del tipo de seguimiento empleado. Estos valores diarios de irradiación pueden aumentar las corrientes de cortocircuito un 20% por encima del valor para 1000 W/m²

El refuerzo de la irradiación debido a las superficies reflectantes como la arena, la nieve, o los tejados blancos, e incluso las masas cercanas de agua pueden aumentar la corriente de cortocircuito de forma sustancial y durante períodos de tiempo significativos. Las nubes tipo cúmulos también pueden aumentar la irradiación tanto como un 50%.

Otro factor que hay que considerar es que los módulos fotovoltaicos funcionan normalmente a 30-40°C por encima de la temperatura ambiente. En los módulos FV de silicio cristalino, la corriente de cortocircuito aumenta a medida que la temperatura aumenta. Un factor típico puede ser 0.1%/°C. Si la temperatura de funcionamiento del módulo fuese 60°C (35°C por encima del valor STC de 25°C), la corriente de cortocircuito sería un 3.5 por ciento superior al valor especificado. Se han medido temperaturas de funcionamiento de módulos tan altas como 72°C. La combinación de temperaturas de funcionamiento aumentadas, irradiaciones por encima de 1000 W/m² en torno al mediodía y la posibilidad de la irradiación reforzada, ciertamente justifican el requisito *UL* del 125% del valor especificado de corriente de cortocircuito.

Requisitos del *NEC*

El *NEC* exige que la corriente de cortocircuito del módulo, circuito fuente o campo, se multiplique por el 125% antes de calcular la ampacidad de cualquier cable o la capacidad de cualquier limitador de corriente usado en estos circuitos. Este factor se suma al 125% exigido por *UL* y es necesario para asegurar que los limitadores de corriente no se conectan a conductores que puedan causar su funcionamiento inadecuado.

Como son posibles las corrientes de cortocircuito por encima del valor especificado, tal como se muestra en la discusión anterior, y estas corrientes son independientes de los requisitos del *NEC*, la buena práctica de la ingeniería obliga a que se usen ambos factores a la vez. Esto conlleva a un factor de multiplicación en la corriente de cortocircuito de 1.56 (125% x 125%).

El *NEC* también exige que se disminuya la ampacidad de los conductores en función de la temperatura de funcionamiento del conductor. Esto es una exigencia porque la ampacidad de los cables viene dada para una temperatura ambiente de 30°C. En los sistemas FV, los cables circulan por el exterior y deberían someterse, al menos, a una disminución en su ampacidad correspondiente a una temperatura ambiente de 40°C. Los módulos FV funcionan a temperaturas elevadas y en algunas instalaciones, tan elevadas como 73°C (los módulos de concentración funcionan incluso a temperaturas más elevadas). La temperatura en las cajas de conexión del módulo se aproximan a estas temperaturas y los conductores al aire que van en la parte posterior de estos módulos también está expuestos a estas

temperaturas. Unas temperaturas tan elevadas exige que la ampacidad de los conductores se disminuya en factores de 0.33 a 0.58 según sea el tipo de cable, el método de instalación (al aire o bajo tubo) y la especificación de temperatura para el aislamiento.

Los cables bajo tubo en los que el tubo está expuesto a los rayos directos del sol, también se verán sometido a temperaturas de funcionamiento elevadas.

Los cables con aislamiento para 60°C no tienen en absoluto ampacidad cuando funcionan en ambientes con temperaturas ambiente por encima de los 55°C. Esto impide su uso en la mayoría de los sistemas FV.

Estos factores de disminución se aplican para determinar la ampacidad del cable y no están relacionados directamente con el factor del 125% exigido en cualquier otro lugar del *NEC*.
¿Redundancia y Conservadurismo o No?

Parece que no hay duda de que el factor *UL* del 125% en la tensión es necesario en cualquier lugar donde la temperatura ambiente caiga por debajo de 25°C. Aunque el sistema FV puede proporcionar poca corriente bajo condiciones de tensión a circuito abierto, estas tensiones elevadas pueden dañar los equipos electrónicos y causar esfuerzos en los conductores y otros equipos, al exceder sus tensiones de avería.

En temperaturas ambiente desde 25°C hasta 40°C y más, las corrientes de cortocircuito aumentan al tiempo que los conductores se someten a temperatura de funcionamiento más elevadas. El refuerzo de la irradiación puede ocurrir en cualquier momento. Por tanto, los factores de *UL* y del *NEC* para la corriente de cortocircuito y las disminuciones por la temperatura en la ampacidad de los conductores, presentes en el *NEC*, no son redundantes.

La buena práctica de la ingeniería sugiere que los requisitos del estándar 1703 de *UL* y los requisitos del *NEC*, no son ni conservadores ni redundantes y deberían aplicarse en todos los sistemas.

II.3 LEGISLACION MEXICANA

En cuanto a México estamos algo atrasados en lo referente a la legislación en materia de energías renovables, en comparación con otros países, nuestra investigación sobre este tema al no haber competencia en la generación o distribución de la energía eléctrica, hay poca gente que se a preocupado por legislar sobre el tema de la auto generación, así mismo no hay mucha información, la regulación sobre los estándares para poder hacer un sistema foto voltaico conectado a la red de energía entro en vigor en el 2005.

Las normas para regular en México la energías renovables como la solar esta dadas por NEC y la Norma Mexicana de Energía fotovoltaica así como las normas de tierra que son iguales a la de una instalación normal (casa o industria), también hay incentivos por parte del gobierno para hacer mas atractivo a la gente la instalación de esta tecnología.

En el 2005 se aprobó la Norma para sistemas fotovoltaicos y un contrato para pequeño generador de energía, permitiendo a los usuarios vender nuestro exedente de energía a la CFE, ya que es una nueva forma de fortalecer la generación solar como se hace en otros países,

La información que hemos recabado sobre este tema en materia de regulación son:

DIARIO OFICIAL

DECLARATORIA de vigencia de la Norma Mexicana NMX-ES-002-NORMEX-2007, Energía Solar-Definiciones y terminología.

D. O. F. 23 DE ABRIL DE 2007.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Economía.-Subsecretaría de Normatividad, Inversión Extranjera y Prácticas Comerciales Internacionales.- Dirección General de Normas.- Dirección de Normalización.

DECLARATORIA DE VIGENCIA DE LA NORMA MEXICANA NMX-ES-002-NORMEX-2007, ENERGIA SOLAR-DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA.

La Secretaría de Economía, por conducto de la Dirección General de Normas, con fundamento en los artículos 34 fracciones XIII y XXXI de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 51-A, 54, 66 fracciones III y V de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 46 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 19 fracciones I y XV del Reglamento Interior de esta Secretaría y habiéndose satisfecho el procedimiento previsto por la Ley de la materia para estos efectos, expide la Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana que se enlista a continuación, misma que ha sido elaborada, aprobada y publicada como Proyecto de Norma Mexicana bajo la responsabilidad del organismo nacional de normalización denominado “Sociedad

CAPITULO II LEYES Y REGULACIONES PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Mexicana de Normalización y Certificación, S.C. (NORMEX)”, lo que se hace del conocimiento de los productores, distribuidores, consumidores y del público en general. El texto completo de la norma que se indica puede ser adquirido en la sede de dicha asociación, ubicada en Circuito Geógrafos número 20, Ciudad Satélite Oriente, Naucalpan de Juárez, código postal 53101, Estado de México, o consultado gratuitamente en la biblioteca de la Dirección General de Normas de esta Secretaría, ubicada en Puente de Tecamachalco número 6, Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes, Naucalpan de Juárez, código postal 53950, Estado de México.

La presente Norma entrará en vigor 60 días naturales después de la publicación de esta Declaratoria de vigencia en el Diario Oficial de la Federación.

CLAVE O CODIGO	TITULO DE LA NORMA
NMX-ES-002-NORMEX-2007	ENERGIA SOLAR-DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA.

Campo de aplicación

Esta Norma Mexicana establece los vocablos, simbología y la definición de los conceptos más usados en el campo de la investigación y el desarrollo de la tecnología para el mejor uso de la radiación solar como fuente alternativa de la energía.

Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Mexicana es parcialmente equivalente a las normas internacionales ISO 31-6:1992 e ISO-9488-1999.

México, D.F., a 12 de abril de 2007.- El Director General de Normas, Francisco Ramos Gómez.- Rúbrica.

II.3.1 NORMAS PARA LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

También la norma aprobada en el 2005 (NOM01-SEDE-2005):

ARTICULO 690-SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

A. Disposiciones generales

690-1. Alcance.

Lo dispuesto en este Artículo se aplica a sistemas eléctricos de energía fotovoltaica incluyendo circuitos del sistema, unidades de acondicionamiento de potencia y controladores para tales sistemas. Los sistemas solares fotovoltaicos cubiertos por este Artículo pueden ser interactivos con otras fuentes de producción de energía eléctrica o autónomos, con o sin almacenamiento de energía eléctrica, como baterías. Estos sistemas pueden tener salidas para utilización en c.a. o c.c.

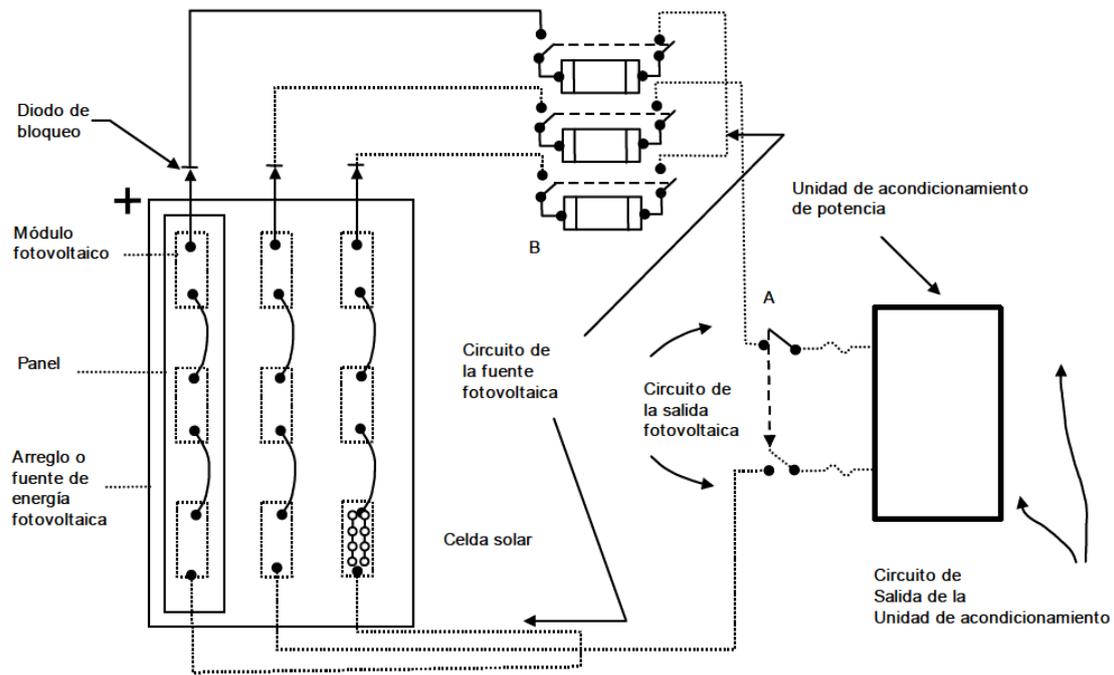


FIGURA II.1 Sistema solar fotovoltaico

(Diagrama simplificado, no se muestra el circuito de puesta a tierra del sistema)

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

690-2. Definiciones

Celda solar fotovoltaica: El dispositivo fotovoltaico básico que genera energía eléctrica cuando es expuesto a la luz solar.

Circuito de la fuente fotovoltaica: Los conductores entre módulos y desde los módulos hasta el o los puntos de conexión común del sistema de c.c. Véase la Figura II.1.

Circuito de salida fotovoltaica: Los conductores del circuito entre el o los circuitos de la fuente fotovoltaica y el inversor o el equipo de utilización de c.c. Véase la Figura 690-1.

Controlador de carga: Dispositivo que controla el régimen y la condición de carga de las baterías, protegiéndolas contra sobrecargas y descargas que excedan sus límites de operación normal.

Diodo de bloqueo: Un diodo usado para impedir el flujo inverso de corriente eléctrica hacia el circuito de la fuente fotovoltaica.

Fuente de energía fotovoltaica: Un sistema o agregado de sistemas, los cuales generan energía en c.c. a la tensión y corriente eléctricas del sistema.

Inversor: Equipo que es usado para cambiar el nivel de tensión eléctrica de la energía, su forma de onda o ambos. Usualmente un inversor (también conocido como unidad de acondicionamiento de potencia o sistema de conversión de potencia) es un dispositivo que cambia una entrada de c.c. a una salida de c.a.

Los inversores en sistemas autónomos pueden incluir también cargadores de baterías que toman la c.a. de una fuente auxiliar, como un generador, y la rectifican a c.c. para cargar baterías.

Inversor: Circuito de entrada: Los conductores entre el inversor y las baterías en un sistema autónomo o los conductores entre el inversor y los circuitos de salida fotovoltaica en sistemas interconectados a la red.

Inversor: Circuito de salida: Los conductores entre el inversor y el tablero de cargas de c.a. en un sistema autónomo, o los conductores entre el inversor y el equipo de acometida u otra fuente de producción de energía eléctrica tal como la compañía suministradora, en sistemas interconectados a la red. Véase la Figura 690-1.

Módulo: El ensamble completo más pequeño de celdas solares, protegido del ambiente, con su óptica y otros componentes excluyendo el dispositivo de seguimiento, diseñado para generar c.c. por la acción de la luz solar.

Panel: Un conjunto de módulos unidos mecánica y eléctricamente, diseñado para manejarse como una unidad instalable en campo.

Sistema: Un ensamble mecánicamente integrado de módulos o paneles con una estructura soporte y cimentación, seguimiento solar, control térmico, y otros componentes, según se requieran para formar una unidad de producción de energía en c.c.

Sistema autónomo: Un sistema solar fotovoltaico que abastece energía en forma independiente de otras fuentes de energía.

Sistema interactivo: Un sistema solar fotovoltaico que opera en paralelo con otra fuente de producción de energía eléctrica conectada a la misma carga y que puede estar diseñado para entregar energía a dicha fuente.

Para el propósito de esta definición, un subsistema de almacenamiento de energía de un sistema solar fotovoltaico, tal como una batería, no es otra fuente de producción de potencia eléctrica.

Sistema solar fotovoltaico: El total de componentes y subsistemas que, en combinación, convierten la energía solar en energía eléctrica apropiada para la conexión a una carga de utilización.

690-3. Otros Artículos. Cuando los requisitos de otros Artículos de esta norma y el Artículo 690 difieran, deben aplicarse los requisitos indicados en el Artículo 690. Los sistemas solares fotovoltaicos que operan como fuentes interconectadas de producción de energía deben instalarse de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 705.

690-4. Instalación

Sistema Fotovoltaico. Se permite que un sistema solar fotovoltaico suministre energía a una edificación u otra estructura, en adición a cualquier acometida de otros sistemas de suministro de energía eléctrica.

Conductores de Sistemas Diferentes. Los circuitos de la fuente fotovoltaica y los circuitos de salida fotovoltaica no deben estar contenidos en la misma canalización, charola, cables, cajas de salida o cajas de empalme o accesorios similares, junto con los circuitos alimentadores o derivados de otros sistemas.

Excepción: Cuando los conductores de diferentes sistemas están separados por una división o se conecten juntos.

c) **Conexiones de módulos.** Las conexiones a un módulo o panel deben estar dispuestas de tal manera que al remover un módulo o panel de un circuito de la fuente fotovoltaica no se interrumpa al conductor puesto a tierra de otro circuito de la fuente fotovoltaica.

Equipo. Los inversores o motogeneradores deben estar aprobados e identificados para uso en sistemas fotovoltaicos.

Montaje de Módulos. Cuando la estructura y los materiales de la edificación a la que suministra energía el sistema fotovoltaico no tengan la resistencia mecánica necesaria, los módulos deben montarse en una estructura independiente que les dé el soporte y la orientación necesarios, asegurando su adecuada ventilación. En todo caso, el cable de acometida entre el sistema fotovoltaico y la edificación debe quedar adecuadamente protegido contra posible daño físico.

690-5. Detección e interrupción de fallas a tierra. Los sistemas fotovoltaicos montados en techos de casas habitación deben tener protección contra fallas a tierra para reducir el riesgo de incendio.

El circuito de protección contra falla a tierra debe ser capaz de detectar una falla a tierra, interrumpiendo la trayectoria de la falla y desconectando el sistema.

B. Requisitos para los circuitos

690-7. Tensión eléctrica máxima

Capacidad de tensión eléctrica. En una fuente de energía fotovoltaica y sus circuitos de c.c., la tensión eléctrica considerada debe ser la del circuito abierto especificada. Para instalaciones de tres hilos, incluyendo circuitos de dos hilos conectados a sistemas de tres hilos, la tensión eléctrica del sistema debe ser la más alta entre dos conductores.

Circuitos de utilización de c.c. La tensión eléctrica de los circuitos de utilización de c.c. debe de apegarse a lo indicado en 210-6.

Circuitos de la fuente y salida fotovoltaica. Se permite operar hasta 600 V los circuitos de la fuente fotovoltaica y los circuitos de salida fotovoltaica que no incluyan portalámparas, ni artefactos para lámparas ni receptáculos.

Excepción: Para instalaciones que no sean viviendas para una o dos familias, se permiten sistemas de más de 600 V nominales, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 710.

d) **Circuitos a más de 150 V a tierra.** En casas habitación de una o 2 familias, las partes vivas de los circuitos de la fuente fotovoltaica y de los circuitos de salida fotovoltaica a más de 150 V a tierra no deben estar accesibles mientras están energizados, excepto a personal calificado.

NOTA - Véase 110-17 para la protección de partes vivas y 210-6 para la tensión eléctrica a tierra y entre conductores.

690-8. Dimensionamiento y capacidad de conducción de corriente eléctrica de los circuitos

a) **Capacidad de conducción de corriente eléctrica y dispositivos de protección contra sobrecorriente.** La capacidad de conducción de corriente eléctrica de los conductores y la especificación o ajuste de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no deben ser menores a 125% de la corriente eléctrica calculada de acuerdo al inciso (b) siguiente.

La especificación o ajuste de los dispositivos de protección contra sobrecorriente deben estar de acuerdo con lo indicado en 240-3, (b) y (c).

Excepción: Los circuitos que contengan un ensamble cuyo conjunto de dispositivos de protección contra sobrecorriente están especificados para operación continua a 100% de su capacidad.

b) Cálculo de la corriente eléctrica de los circuitos. La corriente eléctrica para cada circuito individual debe calcularse como sigue:

Circuitos de la fuente fotovoltaica. La suma de la corriente eléctrica especificada de corto circuito de los módulos en paralelo.

Circuito de salida fotovoltaica. La corriente eléctrica especificada de corto circuito de la fuente de energía fotovoltaica.

Circuito de salida del inversor. La corriente eléctrica de salida especificada del inversor o de la unidad de acondicionamiento de potencia.

Excepción: Cuando no exista una fuente de energía externa que pueda ocasionar un regreso de corriente eléctrica, la capacidad de conducción de corriente de los conductores del circuito sin dispositivos de protección contra sobrecorriente no debe ser menor que la corriente eléctrica de cortocircuito.

4) Circuito de entrada de un inversor autónomo. La corriente eléctrica especificada de entrada del inversor autónomo cuando el inversor está produciendo su potencia especificada a la menor tensión eléctrica de entrada.

c) Sistemas con tensiones eléctricas múltiples de c.c. En una fuente fotovoltaica que tiene múltiples tensiones eléctricas de salida y que emplea un conductor común de retorno, la capacidad de conducción de corriente del conductor de retorno no debe ser menor que la suma de las capacidades de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos individuales de salida.

690-9. Protección contra sobrecorriente

a) Circuitos y Equipos. Los conductores y equipos del circuito de la fuente fotovoltaica, del circuito de la salida fotovoltaica, del circuito de salida de la unidad de acondicionamiento de potencia y del circuito de la batería de almacenamiento deben estar protegidos de acuerdo con los requisitos establecidos en el Artículo 240. Los circuitos conectados a más de una fuente de energía eléctrica deben tener dispositivos de protección contra sobrecorriente localizados de tal manera que brinden protección desde cualquiera de las fuentes.

NOTA - Un posible regreso de corriente eléctrica desde cualquiera de las fuentes de alimentación, incluyendo una alimentación a través de la unidad de acondicionamiento de potencia hacia el circuito de salida fotovoltaica y hacia los circuitos de la fuente fotovoltaica, deben considerarse para determinar si se está suministrando protección adecuada contra sobrecorriente, desde todas las fuentes hacia los conductores y módulos.

b) Transformadores. Se debe suministrar protección contra sobrecorriente para un transformador con una o varias fuentes en cada lado del mismo, de acuerdo con lo indicado en 450-3, considerando como primario primero un lado del transformador y luego el otro lado.

Excepción: En un transformador que tenga una corriente eléctrica nominal en el lado conectado hacia la fuente de alimentación fotovoltaica no menor que la corriente eléctrica

nominal de corto circuito de salida de la unidad de acondicionamiento de energía, se permite que no tenga protección contra sobrecorriente desde dicha fuente.

Circuitos de la fuente fotovoltaica. Se permite que los dispositivos de protección contra sobrecorriente de circuitos derivados o suplementarios provean protección en circuitos de la fuente fotovoltaica. Los dispositivos de protección deben ser accesibles pero no es necesario que estén expuestos.

Capacidad en c.c. Los dispositivos de protección contra sobrecorriente, empleados en cualquier porción en c.c. del sistema de energía fotovoltaica, ya sean fusibles o interruptores automáticos, deben estar aprobados para uso en circuitos de c.c. y deben tener las capacidades apropiadas de tensión y corriente eléctricas y de interrupción.

C. Medios de desconexión

690-13. Todos los conductores. Se deben proveer los medios para desconectar todos los conductores que lleven corriente eléctrica de una fuente de energía fotovoltaica de todos los otros conductores en un edificio u otra estructura.

Excepción: Cuando una conexión del circuito de puesta a tierra no está diseñada para ser automáticamente interrumpida como parte del sistema de protección contra falla a tierra requerida en 690-5, un desconectador o un interruptor automático usado como medio de desconexión no debe tener un polo conectado al conductor de tierra.

NOTA - El conductor de puesta a tierra puede tener algún medio de desconexión para permitir el mantenimiento o reparación por personal calificado.

690-14. Disposiciones adicionales. Las disposiciones establecidas en el Artículo 230, Parte F deben aplicarse a los medios de desconexión de la fuente de alimentación fotovoltaica.

Excepción No. 1: No se requiere que los medios de desconexión sean adecuados para equipo de acometida y deben ser especificados de acuerdo con lo indicado en 690-17.

Excepción No. 2: Se permiten equipos tales como desconectadores de aislamiento del circuito de la fuente fotovoltaica, dispositivos de protección contra sobrecorriente y diodos de bloqueo en el lado de la fuente de energía fotovoltaica donde están los medios de desconexión de la misma.

690-15. Desconexión de equipo fotovoltaico. Deben proveerse medios para desconectar equipos tales como inversores, baterías, controladores de carga y similares, de todos los conductores no puestos a tierra de 64 (Sexta Sección) DIARIO OFICIAL Lunes 13 de marzo de 2006 todas las fuentes. Si el equipo está energizado por más de una fuente, los medios de desconexión deben ser agrupados e identificados.

690-16. Fusibles. Deben proveerse medios para desconectar un fusible de todas las fuentes de alimentación si aquél está energizado por ambas direcciones y está accesible a personal no calificado. Dicho fusible, en un circuito de fuente fotovoltaica, debe poder desconectarse independientemente de los fusibles de otros circuitos de la fuente fotovoltaica.

690-17. Desconectadores o interruptores automáticos. Los medios de desconexión para conductores no puestos a tierra consisten de uno o varios desconectadores o interruptores automáticos:

localizados en un lugar accesible fácilmente operables externamente sin exponer al operador al contacto con partes vivas indicando claramente si está en la posición cerrado o abierto, y deben tener una corriente de interrupción suficiente para la corriente y tensión eléctricas que

puede estar disponible en las terminales de línea del equipo. Se debe fijar un letrero de precaución adyacente a los medios de desconexión cuando todas sus terminales puedan estar energizadas en la posición de abierto. El letrero de precaución debe ser claramente legible y tener la siguiente leyenda:

“PRECAUCION-CHOQUE ELECTRICO-NO TOCAR-TERMINALES ENERGIZADAS EN POSICION DE ABIERTO”.

Excepción: Un medio de desconexión localizado en el lado de c.c. puede tener una corriente de interrupción menor que la capacidad de conducción de corriente eléctrica del sistema, cuando el sistema está diseñado de tal manera que el desconector de c.c. no pueda ser abierto bajo carga.

690-18. Deshabilitación de un sistema. Deben proveerse medios para deshabilitar un sistema o porciones del mismo.

NOTA- Los módulos fotovoltaicos están energizados mientras están expuestos a la luz. La instalación, reemplazo o servicio de componentes del sistema mientras uno o varios módulos están siendo irradiados puede exponer a las personas a un choque eléctrico.

D. Métodos de alambrado

690-31. Métodos permitidos

Sistemas de alambrado. Se permiten todos los métodos de canalización y alambrado de cables incluidos en esta norma y otros sistemas de alambrado y accesorios específicamente destinados e identificados para uso en arreglos fotovoltaicos. Cuando se usen dispositivos de alambrado con envoltentes integrales, se debe proveer suficiente longitud de cable para facilitar el reemplazo.

Cable con conductor dúplex. Se permite cable tipo TWD-UV en circuitos de la fuente fotovoltaica, cuando se instalen a la intemperie y expuestos a los rayos del Sol. Véanse el Artículo 338 y la Tabla 310-13.

NOTA: Para información sobre el uso de cables aislados en circuitos de fuentes fotovoltaicas, véase la nota de 310-13.

c) **Cables y cordones flexibles.** Cuando se usen cables y cordones flexibles para conectar las partes móviles de seguidores solares, se debe cumplir con lo indicado en el Artículo 400 y deben ser cordones para uso extra rudo Tipos ST, SO o W, adecuados para uso en intemperie y resistentes al agua y a la luz del Sol. La capacidad de conducción de corriente debe estar de acuerdo con lo indicado en 400-5.

Para temperaturas ambiente que excedan de 30°C, la capacidad de conducción de corriente debe reducirse con los factores dados en la Tabla II.1(c).

TABLA II.1(c).- Factores de corrección

Temperatura ambiente °C	Temperatura máxima de operación del conductor		
	60°C	75°C	90°C
30	1,0	1,0	1,0
31-35	0,91	0,94	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91
41-45	0,71	0,82	0,87
46-50	0,58	0,75	0,82
51-55	0,41	0,67	0,76

d) Cables con conductores pequeños. Se permiten cables monoconductores de tamaño nominal de 1,31 mm² (16 AWG) y 0,824 mm² (18 AWG) aprobados para uso en intemperie y que sean resistentes a la luz del Sol y al agua, para conexiones de módulos cuando esos cables cumplen con los requerimientos de capacidad de conducción de corriente indicados en 690-8. Se debe referir a 310-15 para determinar la capacidad de conducción de corriente y los factores de corrección por temperatura de los cables.

690-32. Conexión de componentes. Cuando estén aprobados para ese uso, se permiten, accesorios y conectores destinados a quedar ocultos al momento del ensamble en el sitio para la conexión de módulos u otros componentes de los sistemas. Tales accesorios y conectores deben ser adecuados en aislamiento, elevación de temperatura y tolerancia a las corrientes eléctricas de falla al método de alambrado empleado, y deben ser capaces de resistir los efectos del ambiente en que se usen.

690-33. Clavijas o conectores. Los conectores permitidos en 690-32 deben cumplir con lo indicado en los incisos siguientes:

Configuración. Los conectores deben ser polarizados y tener una configuración que no sea intercambiable con receptáculos de otros sistemas eléctricos del usuario.

Protección. Los conectores deben estar contruidos de forma que protejan a las personas del contacto inadvertido con partes vivas.

Tipo. Los conectores deben ser de tipo de cierre o seguro.

Elemento de Puesta a Tierra. El elemento de puesta a tierra del conector acoplable debe ser el primero en hacer contacto y el último en romperlo.

Interrupción del Circuito. Los conectores deben ser capaces de interrumpir la corriente eléctrica del circuito sin peligro para el operador.

690-34. Acceso a cajas. Las cajas de empalme, de paso y de salida localizadas atrás de los módulos o paneles deben instalarse de forma que el alambrado contenido en ellas pueda hacerse accesible directamente o desplazando uno o varios módulos o paneles montados por fijaciones removibles y conectados por un sistema de alambrado flexible.

E. Puesta a tierra

690-41. Puesta a tierra del sistema. Para una fuente de energía fotovoltaica, un conductor de un sistema de dos conductores especificado a más de 50 V o un conductor neutro de un sistema de tres conductores, deben ser puestos a tierra sólidamente.

Excepción: Se permiten otros métodos que logren un sistema de protección equivalente y que utilicen equipo aprobado e identificado para tal uso.

NOTA - Véase la primera nota en 250-1.

690-42. Punto de conexión de la puesta a tierra del sistema. La conexión de puesta a tierra del circuito de c.c. debe hacerse en un solo punto del circuito de salida fotovoltaica.

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

690-43. Puesta a tierra del equipo. 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.

690-44. Sistema de electrodo de puesta a tierra. Debe proveerse un sistema de electrodo de puesta a tierra de acuerdo con lo indicado en 250-81 a 250-86.

690-45. Tamaño nominal del conductor de puesta a tierra del equipo. En sistemas donde la corriente eléctrica de corto circuito disponible de la fuente fotovoltaica sea menor que dos veces la corriente eléctrica especificada del dispositivo de protección contra sobrecorriente, el conductor de puesta a tierra del equipo, no debe ser de menor tamaño nominal al requerido para los conductores del circuito.

En cualquier otro sistema, el conductor de puesta a tierra debe ser calculado de acuerdo con lo indicado en 250-95.

F. Marcado

690-51. Módulos. Los módulos deben marcarse con identificación de las terminales o cables de salida, en cuanto a su polaridad, a la especificación del dispositivo de protección contra sobrecorriente máxima, y con la especificación de: (1) tensión eléctrica de circuito abierto (2) tensión eléctrica de operación (3) tensión eléctrica máxima permisible del sistema (4) corriente eléctrica de operación (5) corriente eléctrica de corto circuito y (6) potencia máxima.

690-52. Fuente de energía fotovoltaica. El instalador debe marcar en el sitio, en un lugar accesible en los medios de desconexión de la fuente de energía fotovoltaica, las especificaciones de:

corriente eléctrica de operación

tensión eléctrica de operación

tensión eléctrica de circuito abierto, y

corriente eléctrica de cortocircuito de la misma fuente.

NOTA - Cuando se utilicen sistemas reflejantes para aumentar la irradiación se debe considerar en el marcado el incremento resultante de los niveles de corriente eléctrica y potencia de salida.

G. Interconexión a otras fuentes de energía

690-61. Pérdida de la tensión eléctrica del sistema. La salida de potencia de la unidad de acondicionamiento de energía en un sistema solar fotovoltaico que es interactivo con otro u otros sistemas eléctricos debe ser automáticamente desconectada de todos los conductores no puestos a tierra de tales sistemas eléctricos al perderse la tensión eléctrica en dichos sistemas y no debe reconectarse a los sistemas eléctricos hasta que aquélla sea restablecida.

NOTA - Para otras fuentes interconectadas de producción de energía eléctrica véase el Artículo 705.

Se permite operar un sistema solar fotovoltaico normalmente interactivo como sistema autónomo para suministro de energía eléctrica a una edificación.

690-62. Capacidad del conductor neutro puesto a tierra. Si una unidad de acondicionamiento de energía monofásica, dos hilos, se conecta al neutro puesto a tierra y a un solo conductor de fase de un sistema de tres hilos o a un sistema trifásico estrella de cuatro hilos, la suma de la carga máxima conectada entre el neutro puesto a tierra y cualquier conductor de fase, más la capacidad de salida de la unidad de acondicionamiento

de energía, no debe exceder la capacidad de conducción de corriente del conductor neutro puesto a tierra.

690-63. Conexiones desbalanceadas

Monofásicas. La salida de una unidad de acondicionamiento de energía monofásica no debe ser conectada a un servicio eléctrico de tres fases, tres o cuatro hilos, derivado directamente de un transformador con conexión delta.

Trifásicas. Una unidad trifásica de acondicionamiento de energía debe ser desconectada automáticamente de todos los conductores de fase del sistema interconectado cuando se abra una de las fases de cualquier fuente.

Excepción para (a) y (b): Cuando el diseño del sistema interconectado es tal que no resulten tensiones eléctricas desbalanceadas significativas.

690-64. Punto de interconexión. La salida de una fuente de producción de energía debe ser interconectada como se especifica en los incisos siguientes:

NOTA - Para los propósitos de esta Sección una fuente de producción de energía se considera como: (1) la salida de una unidad de acondicionamiento de energía cuando esté conectada a una fuente de electricidad de c.a. (2) el circuito de salida fotovoltaica cuando sea interactivo con una fuente de c.c.

Lado del suministro. Se debe interconectar al lado del suministro de los medios de desconexión de la acometida como se permite en la Excepción 6 de 230-82.

Lado de la demanda. Se debe interconectar al lado de la demanda de los medios de desconexión de la acometida de las otras fuentes, si se cumplen las siguientes condiciones:

Cada una de las conexiones de las fuentes deben ser hechas a un interruptor automático o a un medio de desconexión de fusibles destinado para ello.

La suma de las capacidades de corriente eléctrica de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en los circuitos que suministran energía a una barra de conexiones o a un conductor no debe exceder la capacidad de la barra de conexiones o del conductor.

Excepción: Para una casa habitación, la suma de las capacidades de los dispositivos de protección contra sobrecorriente no deben exceder de 120% la capacidad de la barra de conexiones o del conductor.

3) El punto de conexión debe estar en el lado de la línea de todos los equipos de protección contra falla a tierra.

Excepción: Se permiten conexiones en el lado de la demanda de la protección contra falla a tierra, si se provee una protección contra falla a tierra para el equipo hacia las posibles fuentes de corriente eléctrica de falla a tierra.

4) Los equipos que contengan dispositivos de protección contra sobrecorriente en circuitos que suministran energía a una barra de conexiones o a un conductor deben marcarse para indicar la presencia de todas las fuentes.

Excepción: Los equipos con energía suministrada desde un solo punto de conexión.

5) Los equipos como interruptores automáticos, si son retroalimentados deben identificarse para tal operación.

H. Baterías de acumuladores

690-71. Instalación

a) **General.** Las baterías de acumuladores en un sistema solar fotovoltaico deben instalarse de acuerdo con lo previsto en el Artículo 480.

Excepción: Lo previsto en 690-73.

b) Casas-Habitación

1) Las baterías para casas-habitación deben tener las celdas conectadas de forma que operen a menos de 50 V.

Excepción: Cuando las partes vivas no estén accesibles durante el mantenimiento rutinario de las baterías, se permite una tensión eléctrica del sistema de baterías de acuerdo con lo indicado en 690-7.

2) Las partes vivas de sistemas de baterías para casas-habitación deben estar protegidas para evitar el contacto accidental por personas u objetos sin importar la tensión eléctrica o tipo de batería.

NOTA - Las baterías en sistemas solares fotovoltaicos están sujetas a ciclos extensos de carga - descarga y típicamente requieren de mantenimiento frecuente, como la verificación del electrolito y la limpieza de las conexiones.

c) **Limitación de corriente eléctrica.** Se debe instalar un dispositivo adecuado de limitación de sobrecorriente en cada circuito adyacente a las baterías, cuando la corriente eléctrica de cortocircuito de la batería o del banco de baterías exceda la corriente de interrupción o de soporte de otros equipos en dicho circuito. La instalación de fusibles limitadores de corriente eléctrica debe cumplir con lo indicado en 690-16.

690-72. Estado de carga. Debe proveerse equipo para controlar el estado de carga de la batería. Todos los medios de ajuste para controlar el estado de carga de la batería deben ser accesibles solamente a personal calificado.

Excepción: Cuando el diseño de la fuente de energía fotovoltaica cumple con los requisitos de capacidad de tensión y corriente eléctricas de carga de las celdas de batería interconectadas.

El controlador de carga en los sistemas fotovoltaicos para electrificación de casas-habitación debe operar en forma automática.

690-73. Puesta a tierra. Las celdas de baterías interconectadas pueden considerarse puestas a tierra cuando la fuente de energía fotovoltaica se instala de acuerdo a la Excepción de 690-41.

690-74. Conexiones de batería. Se permite el uso de cables flexibles dentro de la envolvente de las baterías, como se identifican en el Artículo 400, de tamaño nominal de $67,4 \text{ mm}^2$ (2/0 AWG) y mayores, desde las terminales de la batería a una caja de empalmes cercana, donde deben conectarse por un método adecuado. Se permiten también cables flexibles entre baterías y celdas dentro de la envolvente de baterías. Los cables deben estar aprobados para uso rudo y ser resistentes al ácido y humedad.

II.3.2 CONTRATO DE GENERACION DE ENERGIA

En el 2007 se dio una resolución para permitir a los usuarios comunes la oportunidad de vender energía a la CFE, siempre y cuando sea generada por sistemas de energía renovables.

Resolución por la que se aprueba el modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-
Comisión Reguladora de Energía.

RESOLUCION No. RES/176/2007

RESOLUCION POR LA QUE SE APRUEBA EL MODELO DE CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA.

RESULTANDO

PRIMERO. Que, de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de mayo de 2007, la diversificación de fuentes primarias de generación y el aprovechamiento de fuentes renovables de energía se establece como una estrategia en materia de energía.

SEGUNDO. Que, recogiendo lo que al respecto estableció el Programa Sectorial de Energía 2001-2006, la Prospectiva del Sector Eléctrico 2006-2015 señala que la actual política energética considera una mayor diversificación en la generación de electricidad, mediante el impulso y desarrollo de las tecnologías que aprovechan las fuentes primarias de energía, contribuyendo así al desarrollo sustentable del país.

TERCERO. Que esta Comisión Reguladora de Energía (esta Comisión) ha efectuado diversas consultas en esta materia, con la intervención de funcionarios de la Comisión Federal de Electricidad (la CFE), Luz y Fuerza del Centro (LFC) y de empresas interesadas.

CUARTO. Que el resultado de las consultas a que se refiere el resultando tercero anterior confirma la necesidad de elaborar el Modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar a Pequeña Escala (el Modelo de Contrato), objeto de la presente Resolución.

QUINTO. Que, mediante oficio número 323.01/0243 del 22 de febrero de 2007, la CFE presentó ante esta Comisión la propuesta de Modelo de Contrato a que se refiere el resultando cuarto anterior.

SEXTO. Que, mediante oficio número DGE/0388/2007 del 22 de febrero de 2007, esta Comisión requirió a LFC su opinión sobre la propuesta a que hace mención el resultando quinto anterior.

SEPTIMO. Que, mediante oficio número 99 del 22 de marzo de 2007, LFC hizo del conocimiento de esta Comisión diversos comentarios respecto del Modelo de Contrato

propuesto por la CFE a que se refiere el resultando cuarto anterior, mismos que fueron considerados en la elaboración de dicho Modelo de Contrato.

OCTAVO. Que, en cumplimiento con lo dispuesto por el artículo 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, con fecha 2 de marzo de 2007, esta Comisión, por conducto de la Oficialía Mayor de la Secretaría de Energía, remitió a la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente al anteproyecto de la presente Resolución.

NOVENO. Que, con fecha 23 de mayo de 2007, esta Comisión recibió el oficio número COFEME/07/1380, emitido por la COFEMER, en el que se comunicó el dictamen total sobre la Manifestación de Impacto Regulatorio, a que hace referencia en el resultando octavo anterior, dictamen en el que la COFEMER efectúa diversas recomendaciones, que en su caso, deben ser atendidas por la CFE.

CONSIDERANDO

PRIMERO. Que, de acuerdo con lo dispuesto por el artículo 3, fracción XIII, de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, corresponde a ésta aprobar los modelos de convenios y contratos de adhesión para la realización de las actividades reguladas.

SEGUNDO. Que el Modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar a Pequeña Escala, objeto de la presente Resolución, resulta aplicable igualmente a LFC, en los términos previstos en el artículo 11 del Decreto por el cual se crea el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de febrero de 1994.

TERCERO. Que la CFE realizó el pago de derechos por la aprobación del Modelo de Contrato para la realización de actividades reguladas en términos de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, conforme a lo dispuesto por el artículo 56, fracción V, de la Ley Federal de Derechos, en el Banco HSBC México, S.A., con fecha 28 de febrero de 2007.

CUARTO. Que los actos administrativos de carácter general que expidan las dependencias y organismos descentralizados de la Administración Pública Federal deberán publicarse en el Diario Oficial de la Federación para que produzcan efectos jurídicos, de conformidad con el artículo 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, y

QUINTO. Que el procedimiento a que se refiere el artículo 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo fue desahogado mediante el trámite administrativo a que se refieren los resultados octavo y noveno anteriores.

Por lo anterior, con fundamento en los artículos 36, 36 bis, 37, inciso c), 39 y 44 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica; 1, 3, 4, 12, 13, 14, 16, fracción X, 57, fracción I, y 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 1, 2, fracciones III y IV, 3, fracciones III, V, XIII y XXII, y 4 de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía; 11, 135, fracción III, 136 al 142, 144, 146 al 160 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y 11 del Decreto por el cual se crea el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de febrero de 1994, esta Comisión Reguladora de Energía:

RESUELVE

PRIMERO. Se aprueba el Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala para quedar en los términos del Modelo de Contrato que se agrega a la presente como Anexo I, teniéndose por reproducido como si a la letra se insertare y formando parte integrante de la presente Resolución.

SEGUNDO. Se exhorta a la Comisión Federal de Electricidad que inscriba el Contrato objeto de la presente Resolución, en el Registro Federal de Trámites y Servicios, atendiendo las recomendaciones en términos de lo expuesto en el resultando noveno anterior.

TERCERO. Notifíquese la presente Resolución a la Comisión Federal de Electricidad y a Luz y Fuerza del Centro y hágase de su conocimiento que contra el presente acto administrativo podrá interponerse el recurso de reconsideración que prevé el artículo 11 de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía y que el expediente respectivo se encuentra y puede ser consultado en las oficinas de esta Comisión Reguladora de Energía, ubicadas en Horacio 1750, colonia Polanco, Delegación Miguel Hidalgo, 11510, México, D.F.

CUARTO. Publíquese la presente Resolución y su Anexo I en el Diario Oficial de la Federación.

QUINTO. Inscríbese la presente Resolución en el Registro a que hace referencia la fracción XVI del artículo 3 de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía bajo el número RES/176/2007.

México, D.F., a 7 de junio de 2007.- El Presidente, **Francisco J. Salazar Diez de Sollano**.- Rúbrica.- Los Comisionados: **Francisco José Barnés de Castro, Israel Hurtado Acosta, Adrián Rojí Uribe**.- Rúbricas.-Ausente: Noé Navarrete González.

ANEXO I

CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA QUE CELEBRAN POR UNA PARTE LOS ORGANISMOS PUBLICOS DESCENTRALIZADOS COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD O LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, DENOMINADOS EN LO SUCESIVO EL SUMINISTRADOR, Y POR LA OTRA Asociacion fotovoltaica A.C., A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARA EL GENERADOR, REPRESENTADO POR Rafael Vega Bonilla EN SU CARACTER DE Asociado, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLAUSULAS.

DECLARACIONES

I. Declara el **Suministrador** que:

- (a) Es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, que se rige por la **Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica** y su Reglamento, y acredita tal carácter en los términos _____ .
- (b) Su representante, el señor _____ cuenta con todas las facultades necesarias para comparecer a la celebración del presente contrato, según consta en la escritura pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____ . Notario Público No. _____ de la ciudad de _____ .

CAPITULO II LEYES Y REGULACIONES PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

- (c) Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales del presente **Contrato**.
- (d) El presente **Contrato** es aplicable a todos los **Generadores** con **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala** con capacidad hasta de 30 kW, que se interconectan a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del **Sistema** del **Suministrador** para portear energía a sus cargas.

II. Declara el **Generador** que:

- (a) (Opción 1. persona física): Es una persona física que comparece por su propio derecho con capacidad jurídica para contratar y obligarse en términos del presente Contrato y se identifica con _____, expedida por _____, de fecha _____.

(Opción 2. persona moral): Es una sociedad mexicana, constituida de acuerdo con la escritura No. _____ de fecha _____, pasada ante la fe del licenciado _____, Notario Público No. _____ de la ciudad de _____, e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____.]

Su representante _____, quien actúa con el carácter de _____, cuenta con todas las facultades necesarias para la celebración del presente contrato, según se desprende de la escritura pública No. _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado Notario Público No. _____ de la ciudad de _____ e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____].

- (b) Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este **Contrato**.
- (c) Se obliga a proporcionar al **Suministrador**, el anexo que formará parte del **Contrato**, el cual se describe a continuación:

Anexo E-RNT Características de los equipos de medición y comunicación.

CLAUSULAS

PRIMERA. Objeto del **Contrato**. El objeto de este **Contrato** es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador** y la **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala** del **Generador**;

SEGUNDA. Definiciones. Los términos que aparecen en este **Contrato**, ya sea en el propio cuerpo o en cualquiera de sus anexos, con inicial mayúscula y negrillas tendrán el significado que se les asigna en esta cláusula segunda. Dicho significado se aplicará al término tanto en singular como en plural.

- **Contrato.** El presente **Contrato** para **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala** incluyendo todos y cada uno de sus anexos.
- **Generador.** La persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala**.
- **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala:** Es la que utiliza como energético primario la energía solar.
- **Ley.** La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Parte o Partes del contrato.** La Comisión Federal de Electricidad o Luz y Fuerza del Centro y la persona física o moral que suscribe el **Contrato**.
- **Sistema.** El Sistema Eléctrico Nacional propiedad de los **Suministradores**.

TERCERA. Vigencia del **Contrato**. El presente **Contrato** surtirá sus efectos a partir de la fecha en que sea firmado por ambas **Partes** y tendrá una duración indefinida.

CUARTA. Terminación anticipada y rescisión. El presente **Contrato** podrá darse por terminado anticipadamente por cualquiera de las causas siguientes:

- a) Por voluntad del **Generador**, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Generador** al **Suministrador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- b) Por necesidades del servicio, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Suministrador** al **Generador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- c) Por acuerdo de las **Partes**.

El presente **Contrato** podrá rescindirse por contravención a las disposiciones que establece la **Ley**, el **Reglamento** y las demás disposiciones aplicables al **Contrato**, siempre y cuando dicha contravención afecte sustancialmente lo establecido en este **Contrato**.

Mientras no se rescinda el **Contrato**, cada **Parte** seguirá cumpliendo con sus obligaciones respectivas al amparo del mismo.

QUINTA. Entrega de energía por el **Generador**. El **Generador** se compromete a poner a disposición del **Suministrador** energía producida por la **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala**, y el **Suministrador** se compromete a recibirla hasta por un total igual a la energía asociada a la potencia de kW.

La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:

Para usuarios con servicio de uso residencial: hasta 10 kW

Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión: hasta 30 kW

SEXTA. Interconexión. Las inversiones necesarias para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios serán a cargo del **Generador**.

Asimismo, será a cargo del **Generador** cualquier modificación que sea necesario realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del **Suministrador** y previa autorización de éste.

Las instalaciones y equipos necesarios en el Punto de Interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la conexión con el **Sistema**, deberán cumplir con las especificaciones conducentes del **Suministrador** y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Las características de estas instalaciones y equipos, serán las establecidas por el **Suministrador**.

SEPTIMA. Medición. Los medidores y los equipos de medición a ser usados para medir la energía entregada por el **Generador** al **Suministrador** y la que entregue el **Suministrador** al **Generador**, serán instalados por el **Suministrador** a costa del **Generador**, en el entendido que éste únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición neta y el costo del equipo convencional que instalaría el **Suministrador** para la entrega de energía eléctrica que corresponda. Los medidores tendrán características y especificaciones similares a los instalados por el **Suministrador** y deberán permitir la medición neta (Net Metering) entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la energía eléctrica entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

El **Generador** puede instalar y mantener a su propia costa, medidores y equipo de medición de reserva en el Punto de Interconexión adicionales a los mencionados en el párrafo anterior de esta cláusula, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas que tiene establecidas el **Suministrador** para ese propósito.

OCTAVA. Contrato de Suministro. El **Generador** se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del **Suministrador**.

CAPITULO II LEYES Y REGULACIONES PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

NOVENA. Facturación y pagos. Para fines de facturación, el consumo de kWh del **Generador**, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del **Generador** que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el **Generador** renuncia a cualquier pago por este concepto.

Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del **Suministrador** y se facturará en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava.

DECIMA. El **Generador** se obliga a no intervenir ni modificar los equipos en sus instalaciones que están asociados a la desconexión de su fuente de energía, ni a los asociados a la desconexión de sus instalaciones de las instalaciones del **Suministrador**. En caso contrario, el **Generador** deberá responder de los daños y perjuicios que cause el **Suministrador**.

DECIMA PRIMERA. Lugar de pago. Todos los pagos se harán en moneda de curso legal en los Estados Unidos Mexicanos en las oficinas de atención al público del **Suministrador** o en las instituciones o medios que éste establezca.

DECIMA SEGUNDA. Para lo no establecido en el presente Contrato, se aplicarán las disposiciones del contrato de suministro de energía eléctrica mencionado en la cláusula octava así como a lo dispuesto en las disposiciones jurídicas aplicables.

DECIMA TERCERA. Modificaciones. Cualquier modificación al presente **Contrato** deberá formalizarse por escrito y ambas **Partes** deberán suscribir el convenio correspondiente.

DECIMA CUARTA. Caso fortuito y Fuerza mayor. Las **Partes** no serán responsables por el incumplimiento de sus obligaciones cuando el mismo resulte de caso fortuito o fuerza mayor.

DECIMA QUINTA. Cesión de derechos. El **Generador**, tiene prohibida la cesión parcial o total de los derechos y obligaciones derivadas del presente **Contrato**, sin la previa autorización por escrito del **Suministrador**.

DECIMA SEXTA. Legislación y tribunales. El presente **Contrato** se rige e interpreta por las leyes federales de los Estados Unidos Mexicanos y, en particular, por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. Las controversias que surjan del presente contrato serán competencia de los tribunales federales

en la ciudad _____ y al efecto las partes renuncian al diverso fuero que pudiere corresponderles por

razón de su domicilio u otras causas.

Este **Contrato** se firma en __ ejemplares en la Ciudad de _____ , el ____ de _____ de _____.

EL SUMINISTRADOR

EL GENERADOR

Las firmas y antefirmas que anteceden corresponden al **Contrato** celebrado entre el **Suministrador** y el **Generador**.

II.3.3 Conclusiones

Como se puede ver el primer documento es para la definición oficial del término energía solar, el segundo es la Norma que regula y pro ultimo la resolución para permitir la generación eléctrica a base de energía solar y el contrato que has de realizar para poder vender a la comisión de energía tu sobrante.

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), que regula la provisión de electricidad en México, no permite a los particulares la libre compra-venta de energía, pero sí su generación, ya sea para autoabastecerse, o para complementar procesos productivos mediante la cogeneración, sujetos a permiso de la CRE. Los particulares también pueden generar energía para la CFE, en esquemas de productor externo y de pequeño productor, así como para exportarla. De 1994 a 2005 la CRE ha aprobado 348 permisos de generación de electricidad, de los cuales 317 están en operación.

Dictaminación favorable a la Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía en diciembre de 2005, por la Cámara de Diputados.

Modificación del modelo de contrato de interconexión para autoabastecimiento con ER intermitentes por la CRE con la finalidad de incorporar una metodología para estimar y acreditar el aporte de capacidad de estas fuentes al Sistema Eléctrico Nacional.

Proyecto de Norma Oficial Mexicana para la protección al medio ambiente durante la construcción, explotación y abandono de un parque eólico.

Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE)

En Diciembre del 2005 se aprobó en la Cámara de Diputados la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), en la que se establece la creación de un Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía. Se define como meta para el 2012, un porcentaje mínimo de participación de las ER en sus distintas modalidades, respecto a la generación total de electricidad, del 8%, sin incluir las grandes hidroeléctricas. La SENER elaborará y coordinará la ejecución del Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.

La capacidad adicional requerida se logrará con:

- Proyectos incluidos en la planeación de la expansión de CFE, una parte de los cuales deberán ser proyectos de pequeña escala (< 30 MW).
- Proyectos de pequeña escala (< 30 MW) no incluidos en la planeación de la expansión de CFE.

Proyectos de autoabastecimiento con fuentes renovables de energía.

- Proyectos en comunidades rurales aisladas.

Para el cumplimiento de las metas establecidas en la iniciativa de ley, se estima necesario destinar aproximadamente 600 millones de pesos al año (equivalente a 55 millones de USD; pesos de 2005) para dar incentivos que fomenten la inversión pública y privada con miras a que se instalen y se pongan en operación proyectos que generen electricidad para el servicio público, utilizando tecnologías competitivas. Se estima necesario destinar asimismo, recursos adicionales del orden de 400 pesos al año (equivalente a 37 millones de USD) para la promoción de otras tecnologías (aplicaciones eléctricas o no eléctricas) menos maduras consideradas como estratégicas para México, así como para fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico nacional y el desarrollo social y económico de las regiones y los sectores de la población más atrasados.

La ley señala, entre otras cosas, que los pagos a los generadores por la energía que entreguen a las redes del Sistema Eléctrico Nacional reflejarán los costos evitados por los suministradores en virtud de la operación de los proyectos de generación. Asimismo, el Sistema Eléctrico Nacional deberá aceptar la electricidad generada a partir de Fuentes Renovables en cualquier momento que se produzca.

Respecto al destino de los fondos del fideicomiso, establece que durante el primer año de operación, los recursos federales aportados se utilizarán de la siguiente forma:

- 55% para el “Fondo Verde”, que incentive el uso de tecnologías renovables maduras (aplicaciones eléctricas).
- 6% para el “Fondo de Tecnologías Emergentes” (aplicaciones eléctricas).
- 10% para el “Fondo de Electrificación Rural”.
- 7% para el “Fondo de Biocombustibles”.
- 7% para el “Fondo General de ER” (aplicaciones no eléctricas).
- 15% para el “Fondo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de las ER (FIDTER)”.

Por último, se establece que al menos el 20% de los recursos del FIDTER serán destinados a la evaluación de los potenciales nacionales de las ER.

Contrato de interconexión para autoabastecimiento y otros instrumentos

A fin de promover el desarrollo de proyectos privados de energía en la modalidad de autoabastecimiento mediante ER del tipo intermitente, la CRE aprobó instrumentos de regulación que consideran la disponibilidad intermitente del energético primario. La materia de estos instrumentos comprende la energía eólica, la solar y la hidroelectricidad con almacenamiento o disponibilidad de agua limitada. Con estos instrumentos se permite al autoabastecedor inyectar a la red de transmisión del suministrador la energía eléctrica generada, cuando se cuente con el energético primario, para ser consumida por sus centros de consumo cuando éstos lo requieran.

En el pasado los instrumentos de regulación aplicables a las ER no reconocían la potencia que aportan los equipos de generación de energía eléctrica de este tipo a las horas de máxima demanda del Sistema Eléctrico Nacional. Por tal motivo, la CRE aprobó en enero de 2005 las modificaciones al modelo de Contrato de Interconexión aplicable a este tipo de fuentes, donde se determina la “potencia autoabastecida” del permisionario como el promedio de las potencias medidas en el Punto de Interconexión, que se hayan presentado

en los 12 intervalos de medición incluidos dentro de la hora de máxima demanda para todos los días laborables del mes en cuestión. Esta Potencia Autoabastecida permitirá reducir el cargo por demanda facturable de los centros de consumo del Permisionario.

También se propone que el intercambio de energía eléctrica, que actualmente se realiza utilizando el Costo Total de Corto Plazo (CTCP), se realice a través del cargo variable de las tarifas eléctricas, buscando así una mayor transparencia al determinar la cantidad de energía que el permisionario intercambia con sus socios.

Otras Iniciativas

Iniciativa para modificar la Ley del Impuesto Sobre la Renta: Propone un nuevo estímulo fiscal que promueva la inversión y uso de ER (energías renovables) para vivienda, que consiste en un crédito fiscal del 30% a la inversión en equipos para la generación de energía proveniente de ER.

Proyecto de Ley Especial sobre Producción y Servicios: Propone establecer un impuesto especial del 0.5% a las enajenaciones o importaciones de energía eléctrica, y que los recursos recaudados se destinen al fomento de las ER en la generación de electricidad.

Iniciativa para modificar la Ley Federal de Derechos: Pretende que los combustibles fósiles paguen un derecho en función del bióxido de carbono (CO₂) liberado en su combustión, gravando su consumo, bajo el principio de que “el que contamina paga”. Para combustibles líquidos, propone derechos de 0.52¢ a 0.97¢ de peso por litro, y un mayor gravamen para los combustibles sólidos. Para el gas natural propone 19.7¢ de peso por millar de pies cúbicos. Los ingresos recaudados se destinarían a la promoción de las ER.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM): (1) NOM para la protección al medio ambiente durante la construcción, explotación y abandono en el uso de energía eólica (fase de aprobación). (2) NOM para determinar el rendimiento térmico y funcionalidad de calentadores solares (en vigor). (3) NOM para calentadores solares, que tiene por objeto establecer los criterios para el aprovechamiento de la energía solar en establecimientos nuevos y remodelaciones en el D.F., que requieran agua caliente para actividades productivas, y establece que al menos 30% del consumo energético anual deberá provenir del sistema de calentamiento basado en el aprovechamiento de la energía solar (en vigor).

Desarrollo de Políticas: Con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo y la GTZ – Cooperación Técnica Alemana– la SENER realizará estudios de factibilidad para bioetanol y biodiesel en el 2006. Estos estudios servirán como base para el desarrollo de una política mexicana en materia del uso de biocombustibles para el transporte.

Apoyo por parte de la Cooperación Técnica Alemana a través de la GTZ

Desde Junio 2005, la GTZ está implementando el proyecto “Promoción de Energías Renovables -PromovER”. El objetivo es contribuir a que las instituciones responsables fomenten de manera más eficaz el desarrollo del mercado de energías renovables. Para lograr este objetivo, se está colaborando estrechamente con los principales actores a nivel macro y se procura impulsar el uso de las energías renovables a gran escala a través de asesoría enfocada tanto a la adecuación de los marcos regulatorios y legales como al

CAPITULO II LEYES Y REGULACIONES PARA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

desarrollo de mercados y proyectos. Se ha enfocado el componente a las siguientes cuatro líneas de acción:

- Desarrollo de políticas y estrategias–al inicio con enfoque en biocombustibles.
- Asesoría para la adecuación de los marcos legal y regulatorio.
- Desarrollo de mercados y proyectos–al inicio enfocado al fomento de calentadoras solares.
- Cooperación Sur-Sur.

Las entidades mexicanas participantes son: Secretaría de Energía (SENER) (principal contraparte responsable), Comisión Reguladora de Energía (CRE), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

CAPITULO III DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CASA HABITACIÓN

III.1 PUNTOS A TENER EN CUENTA

III.1.1 SISTEMA AISLADO O DUAL

Primeramente se decide por el sistema que va hacer instalado estos pueden ser un *sistema aislado* o un *sistema dual (conectado a la red eléctrica)*:

Sistema aislado: es el más conocido y entendido se los dos sistemas, también es el más complejo y costoso, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de acumulación de la energía producida figura III.1. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Durante la fase de insolación es, por tanto, necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcionada a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula.

Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación. Es ideal para zonas de difícil acceso o que no cuenten con suministro de la red eléctrica.

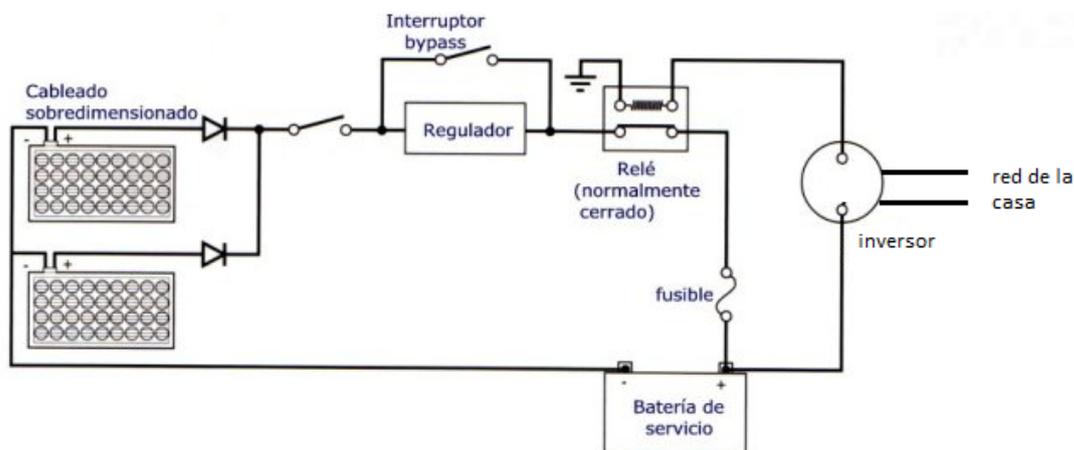


Figura III.1 Sistema aislado

Sistema Dual (conectado a la red eléctrica): Los sistemas **conectados en red**, en cambio, normalmente no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica figura III.2; al contrario, durante las horas de insolación escasa o nula, la carga viene alimentada por la red. Un sistema de este tipo, desde el punto de vista de la continuidad de servicio, resulta más fiable que uno no conectado a la red que, en caso de avería, no tiene posibilidad de alimentación

alternativa. La tarea de los sistemas conectados a la red es, por tanto, la de introducir en la red la mayor cantidad posible de energía. Por esta razón son más económicos no son necesarias las baterías, los reguladores (cargadores de baterías) y la cantidad de paneles puede ser menor.

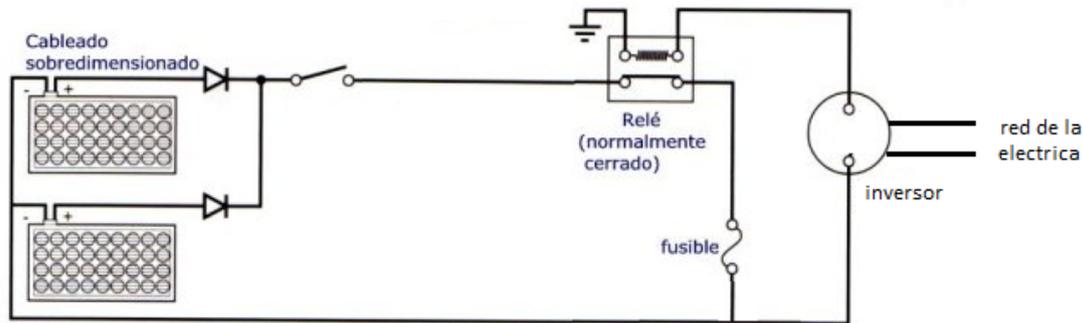


Figura III.2 Sistema conectado a la red (dual)

Así el mejor diseño de un sistema FV es aquel que incorpora el menor número de componentes, al menor costo, *sin sacrificar la confiabilidad del sistema*.

III.1.2 DIMENSIONES DE LA CASA Y SU CONSUMO

Los valores de consumo de la casa y el tamaño de la misma, esto nos indicara que dimensiones tanto de consumo tendremos que proveer como el espacio físico en el que tendremos que adaptarnos para poner todo el material que se necesite.

En este punto se tiene que ver una gran cantidad de factores como es la locación, orientación, dimensiones que serán para el proyecto, cuanto se consume en promedio y si hay algún obstáculo para los rayos de sol, etc.

Este punto se requerirá del plano arquitectónico, eléctrico, uno topográfico si se tiene los últimos recibos de consumo eléctrico y un análisis del hábito de consumo.

III.1.3 PARRARAYOS

En este punto se tendrá que poner atención a los alrededores de la edificación para determinar si es necesario poner un pararrayos, si esta edificación esta dentro de una zona poblada y se encuentran edificaciones más altas que el punto más alto de la instalación fotovoltaica, no se necesitara un sistema de pararrayos ya que las otras edificaciones serán las que estarán equipadas con esto.

III.1.4 ZONA DE TIERRA FISICA ELECTRICA

Determinar las zonas de tierra dentro del área para evitar una disminución de la eficacia por aproximación de sistemas de tierra eléctrica y analizar la resistencia de la tierra física del lugar

III.1.5 HSP O PORCENTAJE DE HORAS DE SOL

Determinar si es viable un proyecto determinando sus HSP, ya que en algunas regiones puede ser muy mal el valor en otras palabras puede ser que no hay suficiente número de horas de sol para dicho proyecto.

III.1.6 DETERMINAR CONFIABILIDAD

La confiabilidad anual de un sistema generador de energía eléctrica está dada por el cociente entre el número de días que *prestó servicio* y 365, que es el total de días que el sistema *debió suministrar servicio*.

Como siempre, este valor suele darse en forma porcentual. Un valor unitario para la confiabilidad es un valor *inalcanzable* en la práctica, ya que siempre existirán fenómenos meteorológicos (vientos intensos, hielo, lluvias, rayos, etc.), así como desperfectos de componentes (transformadores de distribución, cables, etc.).

Aparte de los factores ya mencionados, la confiabilidad de un sistema depende del valor *pico*¹ que tome la carga, ya que la capacidad del sistema generador/ distribuidor es finita. Si el valor máximo de consumo (pico) excede el nivel de seguridad, el sistema dejará de abastecer a la carga. En la práctica el sistema falla primero en forma parcial (bajo voltaje) antes de alcanzar el punto de desconexión. En otras palabras se tiene que tomar en cuenta las cargas que en el momento de entrar en función ya sea porque en ese momento se utilizan más aparatos de lo usual o porque sean de los que consumen grandes cantidades en su arranque (motores eléctricos, hornos de microondas, soldadores de arco eléctrico, etc.).

El costo de un sistema generador/distribuidor de energía eléctrica (FV o no) aumenta exponencialmente cuando el valor de la confiabilidad (menor fallas) se incrementa (figura III.3). Es así que el costo asociado con una confiabilidad entre 0,7 y 0,8 es *menor* que el que se alcanza cuando este valor varía entre 0,8 y 0,9 y *muchísimo menor* que cuando se diseña para un valor de confiabilidad entre el 0,95 y el 0,98. Esto es debido a que para mayor confiabilidad es necesario un excedente de generación (más paneles solares, baterías, un sistema de respaldo de generador de señal, controlador de carga, fusibles, cables, etc.) para los días que exista algún problema.

Para un sistema FV que usa un banco de reserva (régimen nocturno), el incremento en la confiabilidad del servicio se traduce en un mayor banco de batería. Como indiqué anteriormente, el número de baterías en el banco de reserva guarda una relación directa con el número de días sin radiación solar. Al analizar el mecanismo del banco de reserva se comprobará que este número se ve afectado, asimismo, por la duración del período de “recuperación”.

¹ **valor pico** es el máximo que soporta el sistema antes de sobrepasar su capacidad máxima de funcionamiento antes de entra en función sus protecciones

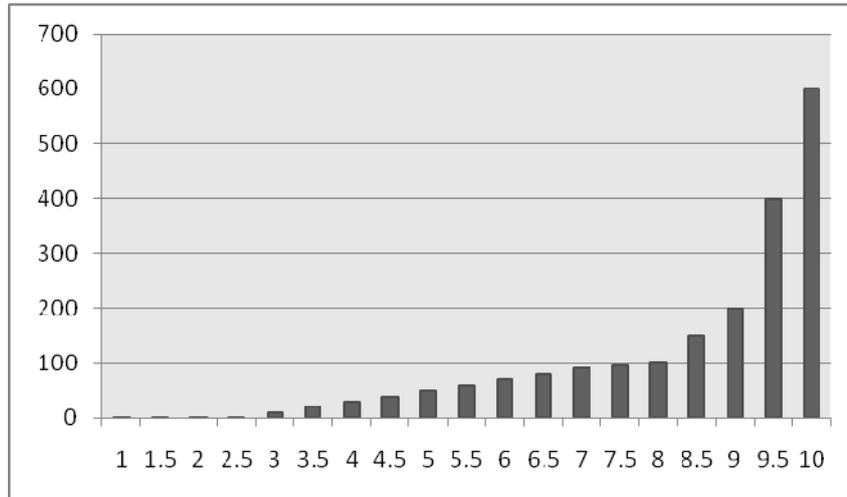


Figura III.3 Grafica de la relacion costo con confiabilidad

En sistemas FVs donde la carga debe ser abastecida las 24 horas del día (régimen diurno), un aumento en el valor de la confiabilidad se traduce, asimismo, en un aumento de la capacidad del banco de reserva, ya que los días nublados exigen que la carga sea alimentada por la reserva.

El gráfico de la Figura III.4 muestra el proceso de carga/descarga para el banco de reserva que toma lugar durante **dos días con plena radiación solar**, durante **tres días sin radiación solar**, y al comienzo del período de recuperación, al **retornar la radiación solar**.

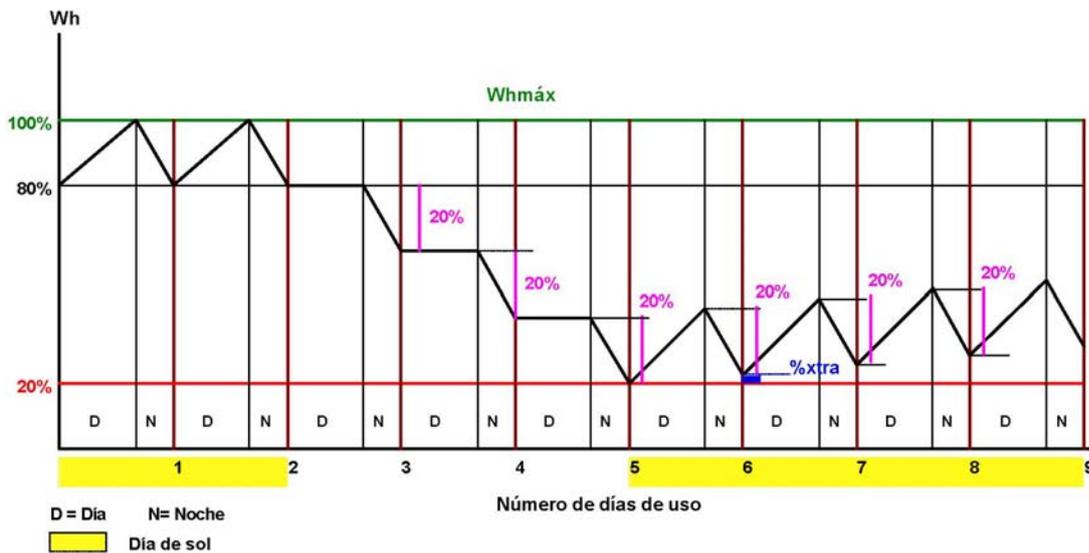


Figura III.4- Carga-Descarga y recuperación de un banco de reserva.

Observe que el banco de reserva debe soportar cuatro (4) descargas consecutivas, ya que el último día soleado terminó con la descarga nocturna del día 2 se asume:

^ Que la carga nocturna consume el 20% de la capacidad de reserva.

- ^ Que no se quiere sobrepasar el límite del 80% para la profundidad de descarga.
- ^ Que los días nublados tienen radiación solar nula.

Observaciones

- ◆◆ La cantidad de descargas que deben considerarse es igual al de *días sin sol más uno*.
- ◆◆ La capacidad de generación debe exceder el valor del consumo diario para poder recuperar la energía perdida durante el período de radiación nula.
- ◆◆ La duración del período de recuperación dependerá del exceso de generación, así como de la ausencia de un nuevo período sin radiación solar mientras el banco de reserva se repone.

Conclusiones

- ^ La confiabilidad del sistema cuando la radiación solar se anula depende, enteramente, del banco de reserva, el buen diseño y la calidad del material utilizado.
- ^ Si se aumenta la capacidad de reserva se disminuirá (carga constante) el porcentaje de descarga diario, alargándose la vida útil de las baterías.

Los pasos enumerados a continuación no constituyen un esquema rígido, sino una guía para el diseño, ya que usualmente se necesita revisar los cálculos. El diseño comienza con la determinación del **régimen** y **valor** de la carga.

1. El **régimen** determina si el sistema tendrá o no un banco de reserva.
2. El **valor** se determina adicionando los consumos individuales, los que están dados por el producto de la potencia requerida por cada artefacto por las horas de uso que se le asigne. Este valor energético estará dado en Wh/d.
3. El cálculo del bloque de generación debe considerar el valor de las **pérdidas en el sistema**, ya que éstas deben ser compensadas si se quiere mantener un equilibrio energético.
4. Una vez que se conoce este valor deberá contemplarse el caso más desfavorable durante el año, para asegurar el mayor grado de confiabilidad. Como los paneles sufren una degradación en su potencia de salida con la temperatura de trabajo, el verano será la estación más desfavorable.
5. Durante esta parte del diseño resulta imprescindible conocer los diferentes valores (temperaturas máximas, mínimas, etc) correspondientes al lugar donde el sistema va a ser instalado.
6. Si el régimen del sistema dicta que debe contarse con un **banco de reserva**, éste es el paso siguiente.

Por último, debemos elegir los **componentes auxiliares** que integrarán este sistema, así como verificar si el sistema va a ser *ampliado en un futuro cercano*, ya que el usuario puede incorporar componentes auxiliares que satisfagan la carga futura, en lugar de tener que reemplazarlos.

III.2 ANALISIS Y CALCULOS DE UNA CASA

Como se menciona antes el primer punto es analizar si es un sistema aislado o conectado a la red

1.-Desidir porque sistema aislado, conectado o una mezcla de los dos.

En este proyecto se decidió por una mezcla entre sistema aislado con respaldo a la corriente eléctrica, con esto aprovechamos lo mejor de ambos sistemas la autonomía del sistema aislado con la un poco más económica y ventajosa sistema dual (conectado a la red eléctrica).

Esto nos hace ser mas capaces de proporcionar una confiabilidad mayor a bajo costo ya que cuando no hubiera sol por muchos días y nuestro banco de baterías se agotara la recargaríamos por medio de la red eléctrica, permitiéndonos un casi nula interacción en el suministro eléctrico en la vivienda.

2.- Análisis de consumo o cálculo de demanda de energía

El análisis del consumo del hogar por día en el siguiente cuadro (tabla III.1) se muestra una tabla con los valores estimados de consumo, para determinar cuánto se necesita generar para satisfacer las necesidades energéticas de la casa habitación.

OBJETO	NUMERO	W/H	HORAS	W/D
LAMPARA AHORRADORA DE LED	28	1	2.5	70
LAMPARA FLUORECENTE	10	27	4.5	1215
LAMPARA FLUORECENTE CON FOTOCELDA	11	42	5	2310
REFRIGERADOR 20 PIES ³	1	140	12	1680
LICUADORA	1	450	0.2	84
HORNO DE MICROONDAS	1	1200	0.2	240
TV 22"	2	50	6	600
LAVADORA	1	500	0.5	250
COMPUTADORA	1	120	5	600
OTROS	1	200	1	200
TOTAL DEL CONSUMO Wh\Dia				7319

Figura III.1 Tabla de Consumo Energético/día

III.2.1 Cálculos Paneles

En primer lugar conociendo el consumo de la casa habitación/día, se utiliza la formula:

$$Wh/d/V=A$$

Ya que primero tenemos que saber cuánta corriente se necesita, para así con base en este valor calcular cuántos paneles se necesitan,

$$(7319\text{Wh/d}) / (48\text{V}) = 152.48 \text{ A/día}$$

Se utiliza un voltaje de 48V, los voltajes de los paneles solares son de 12V, 24 o mas por lo cual los voltajes a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas son 12V, 24V y 48V se recomienda utilizar voltajes lo más alto posible para así el cableado sea más delgado y las perdidas menores. Para este proyecto utilizaremos el voltaje de 48V, ya que este es el voltaje de las placas que queremos utilizar 280W por 2 porque estas placas funcionan a 24V y poder hacer más compacto el sistema, porque no queremos utilizar toda el área del techo así permitimos la futura expansión del sistema.

El resultado obtenido anterior mente se le agrega un 15% para evitar la reducción por perdidas.

$$I_{\text{carga}} * 115\% = I_{\text{total de carga}}$$

$$(152.48 \text{ A/día}) * (115\%) = 175.36 \text{ A/día}$$

Como dijimos antes se utilizaran placas de 280W a 24V y una tención de 7.95A aproximadamente, a esta corriente la multiplicamos por 4.5 hsp (hours sun position) (tabla III.2) que son las horas promedio del mes por día en que el sol dará energía suficiente para generar electricidad a la placa fotovoltaica en el peor mes del año, así nos aseguramos de tener la suficiente energía todo el año, durante las horas de sol el sistema fotovoltaico dará la energía al consumidor y el sobrante será para la carga de baterías, si las baterías estuvieran cargadas y nuestro sistema estuviera produciendo más energía de la que consumimos entonces se iría por la red eléctrica en otras palabras nuestro sobrante se vende a la CFE (Comisión Federal de Electricidad).

CUADRO DE HORAS DE SOL EN DIFERENTES ZONA

Ciudad	Latitu	Ene	Feb	Ma	Ab	Ma	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	No	Dic	Añ
Buenos Aires,	34.60 S	6.5	6.2	5.4	4.7	4.0	3.4	3.7	4.4	5.2	5.7	6.0	6.5	5.2
La Paz, Bolivia	16.5 °	4.5	4,8	5.3	5,3	5,8	6,4	5,2	5,0	6,1	6,3	5,7	5,4	5,5
Sao Paulo. Brasil	23.6 °	4.9	5.1	4.6	4.5	3.9	4.0	3.8	4.0	4.7	5.0	5.1	4.9	4.5
Santiago, Chile	33.5 °	6.9	7.3	6.4	5.4	3.6	3.0	3.3	3.8	4.4	6.1	6.2	7.1	5.3
Bogotá, Colombia	4.6 ° N	5.4	5.2	4.8	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8	4.1	4.5	4.7	4.7
Quito, Ecuador	0.3 ° S	5.0	5.0	4.1	4.3	4.1	4.3	4.7	5.7	4.6	4.8	4.8	4.8	4.7
Chihuahua, México	27.8 °	5.8	6.4	6.8	6.9	6.8	6.4	6.4	6.5	6.7	6.8	5.9	5.2	6.4
México, DF	19.3 °	4.9	6.8	7.9	6.0	5.5	4.5	4.6	5.2	5.0	4.8	5.0	5.2	5.5
Puerto Vallarta, México	20.0 °	5.2	5.7	5,9	5,7	5,7	5,4	5,6	5,7	5,5	5,5	5,1	4,7	5,5
Todos Santos, México	23.0 °	5.0	5.4	5.8	5.9	6.2	6.1	5.7	6.1	5.8	5.8	5.2	4.4	5.6
Tuxtla	14.5 °	4.4	5.1	4.9	4.5	4.4	4.1	4.4	4.4	4,0	4,2	4,4	4,2	4,4
Veracruz, México	19.2 °	4.4	5.7	6.1	5.7	6.4	6.4	5.3	6.1	6.2	6.3	5.7	5.8	5.9

Huancayo, Perú	12.0 °	7.2	5.8	6.7	6.6	6.3	6.4	6.8	7.1	7.1	7.2	6.9	6.4	6.7
San Juan, Puerto Rico	18.5 °	6.0	6.4	7.0	6.8	6.0	6.4	6.8	6.3	6.3	6.2	5.7	6.0	6.3
San Salvador, El	13.6 °	6.5	6.8	6.7	6.2	5.7	4.8	5.7	6.6	5.2	6.1	6.5	6.7	6.1
Montevideo, Uruguay	34.9 °	6.8	6.8	6.2	5.3	4.5	3.8	3.8	4.5	5.3	5.9	6.6	6.7	5.5
Barcelona, Venezuela	10.1 °	5.6	6.0	6.0	5.5	5.2	5.6	6.0	5.6	6.0	5.6	5.5	5.5	5.6

Tabla III.2 hsp de diferentes lugares latinoamericanos (fuente nasa)

$$I_{\text{panel}} * \text{hsp} = I_{\text{panel/día}}$$

$$(7.95 \text{ A}) * (4.5 \text{ hsp}) = 35.775 \text{ A/día}$$

Bien con este nuevo dato lo ocupamos para dividir el consumo por día entre la corriente generada por panel, para obtener cuantos paneles se necesitan para suministrar la energía necesaria.

$$I_{\text{total de carga}} / I_{\text{panel/día}} = \text{paneles}$$

$$(175.36 \text{ A/día}) / (35.775 \text{ a/día}) = 4.9 \text{ paneles}$$

Como no nos sale exacto el número de paneles siempre se redondea hacia arriba, en este caso utilizaremos 5 paneles para proveer energía al sistema y así no falte energía a la casa habitación, pero como necesitamos arreglos de 2 paneles para dar los 48V tendremos que poner otro panel, esto nos da 6 paneles.

III.2.2 Cálculos Baterías

Para calcular la capacidad necesaria de la batería con 7319 w de consumo total al día, se utilizara la siguiente fórmula:

$$\text{Wh/d/V} = \text{A}$$

$$(7319 \text{ Wh/d}) / (48 \text{ V}) = 152.48 \text{ A/día}$$

Con este resultado ya sabemos cuanto carga se consume por día y por lo mismo sabremos cuantas baterías son necesarias para dar servicio autónomo para días nublados o que no se produzca suficiente energía.

Ahora bien para saber que capacidad de batería necesito para este consumo diario, se emplea la formula;

Consumo total * días de autonomía / profundidad de descarga

$$(152.48 \text{ A/día}) * (2 \text{ días}) / (0.7) = 435.36 \text{ A}$$

Se decidió que fueran 2 días por si hay 2 días seguidos sin energía no faltara la energía eléctrica y como estamos conectados a la red eléctrica no es necesario un gasto mayor, si es necesario recargar las baterías por prolongado días nublados se hará desde la red eléctrica del proveedor (CFE). La profundidad de descarga 0.7 porque no se deben de descargar más allá del 70% o se puede arruinar las propiedades de la batería.

Se utilizaran baterías solares comerciales de capacidad de 160 Ah a 12V eso nos da 4 baterías ya que es necesario un numero par para el arreglo ya que se necesitaran conectar las 4 en serie para dar el voltaje requerido ver figura III.5.

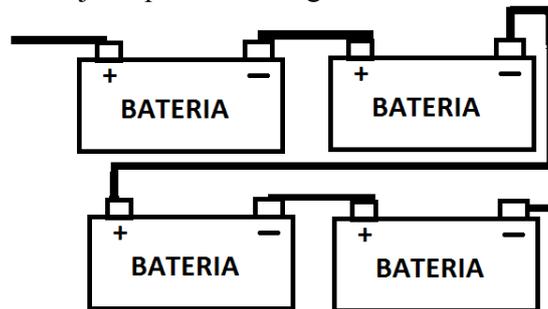


Figura III.5 conexión de baterías

III.2.3 Cálculo del sistema de tierra

ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Es muy importante tomar en cuenta que por norma² {250-26c}, los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferiblemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema.

De acuerdo con la norma oficial mexicana {250-81}, el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando los siguientes tipos de electrodos (siempre que existan):

- Tubería metálica de agua enterrada.
- Estructura metálica del inmueble.
- Electrodo empotrado en concreto.
- Anillo de tierra.

En caso de no disponer de alguno de los anteriores, se deben usar uno o más de los electrodos especialmente contruidos:

- Electrodos de varilla o tubería.
- Electrodos de Placa
- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos.

² "NOM-SEDE-001-2005 Instalaciones Eléctricas (utilización)". *Diario Oficial de la Federación* 13 Marzo 2006.

En nuestro caso vamos a utilizar el electrodo de varilla, así podremos calcular las necesidades de protección de nuestro sistema.

De acuerdo con la NOM {250-83c} los electrodos de varilla y tubo, no deben tener menos de 2,40 m de largo y deben instalarse de tal modo que por lo menos 2,40 m de su longitud esté en contacto con la tierra ver figura III.6.

Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm de diámetro, y las demás de por lo menos 16 mm. Las varillas de acero con un recubrimiento de cobre de 10 milésimas dura un promedio de 35 años en un suelo promedio; si tiene un recubrimiento de 13 milésimas dura hasta 45 años. En cambio, una varilla de acero galvanizado tiene una vida estimada de 15 años.

Estos electrodos se aplican al suelo mediante percusión hasta que alcanzan la profundidad adecuada. En caso de terrenos rocosos o de tepetate, las varillas no pueden meterse de esa manera; se doblan o solamente no pueden entrar. Cuando la roca está a menos de 2,40 m, estos electrodos pueden meterse en diagonal hasta con un ángulo de 45 grados de la vertical. Pero, si no es este el caso, se deben enterrar horizontales en una trinchera abierta para el caso a 800 mm de profundidad por lo menos.

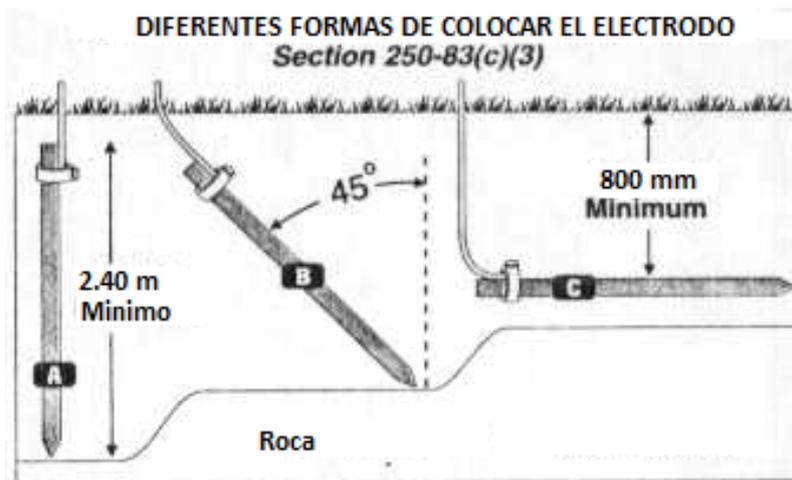


Figura III.6 colocación de electrodo

La alternativa al golpeado es perforar un agujero, instalar la varilla y rellenar nuevamente el agujero, aunque no se obtiene la compactación ni la baja resistencia de contacto de la varilla percutida.

La resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula de Dwight del M.I.T.

$$R := \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \left(4 \cdot \frac{L}{r} \right) - 1 \right)$$

donde:

p es la resistividad del terreno en ohm – m

L es el largo de la varilla en m

r es el radio de la varilla en m

$$3.76 = \frac{8}{2 \pi 2.4} \left(\ln \left(4 \frac{2.4}{0.008} \right) - 1 \right)$$

En este apartado como se observa al estar por debajo de 20Ω la varilla es mas que suficiente para descargar la corriente en un corto circuito.

Para el cable se utiliza el 6 AWG de cobre, ya que la norma (250-93) establece que el cable no debe ser menor de 8 AWG ni mayor a 6 AWG, así que por seguridad tomaremos el cable que nos de mas seguridad.

III.2.4 CALCULO DE CONDUCTORES

Primero vamos a dividir nuestra instalación en diferentes partes:

- Paneles-regulador
- Regulador-baterías
- Baterías-inversor

Ahora la tenemos separadas podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$(2 * L * I) / (56 * \%)$$

L longitud del conductor (lo que mide en metros un solo conductor)

I amperios que van a pasar por el conductor

56 es un constante (para el cobre 56 y 35 para el aluminio)

% es el porcentaje de caída de tensión admisible (el 1%, 3% , 5% del voltaje del sistema 12 , 24 voltios)

ELEMENTOS	MAXIMA	RECOMENDADA
Paneles-regulador	3%	1 %
Reg.-acumulador	1%	0.5%
Acu-inversor	1%	1%
Línea Iluminación	3%	3%
Otros equipos	5%	3%

Paneles-baterías

Esta parte está elaborada por un arreglo de 6 paneles puestos 2 en serie y luego en paralelo (figura III.7).

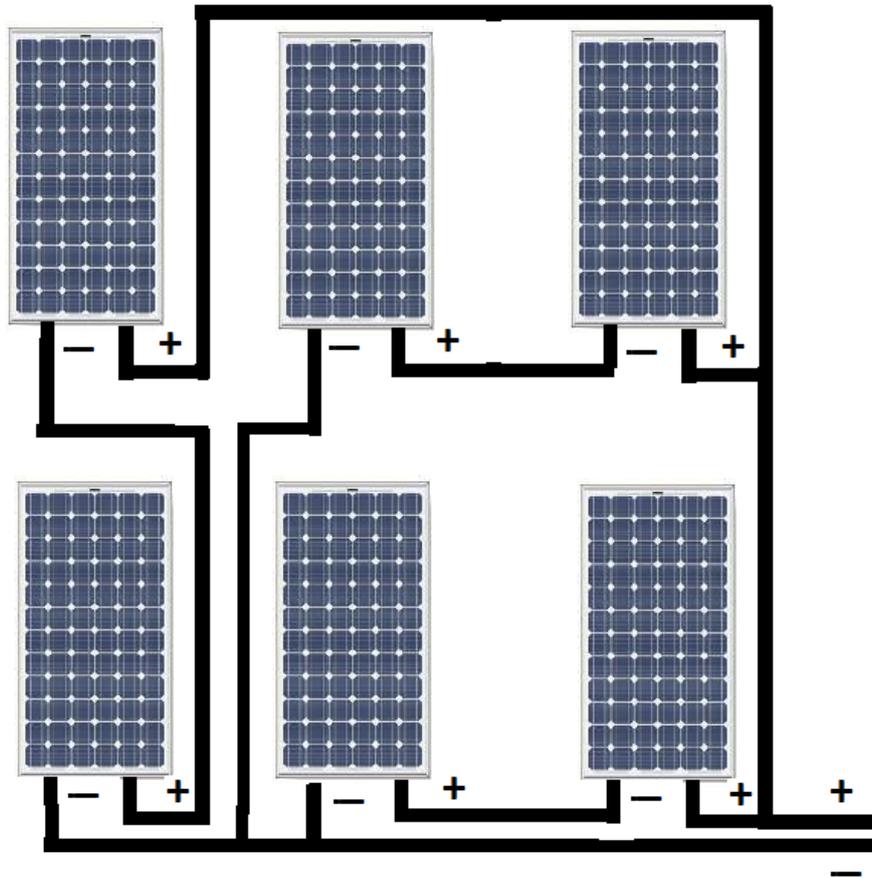


Figura III.7 Arreglo de paneles

Datos:

Longitud 12 metros

Amperaje 26 amp

Con una caída del 3% a 48 V (1.44 amp)

De cable de cobre (56)

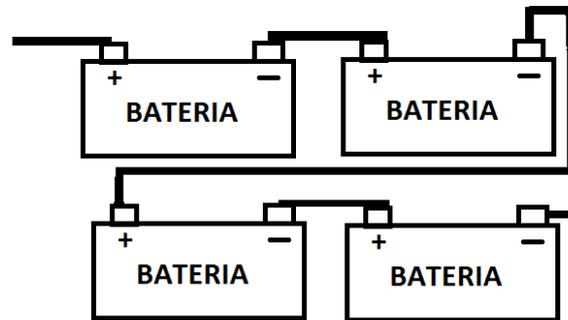
Utilizando la anterior formula da:

$$(2 \times 12 \times 26) / (56 \times 1.44) = 7.74 \text{ mm}^2$$

Tomando las normas NEC y UL este valor lo le sumamos 25% mas para mayor seguridad ya que estos valores se sacan en un laboratorio a temperatura controlada y no como se va a utilizar en la vida real.

$$7.74 \times 1.25 = 9.68 \text{ mm}^2$$

Como no hay cable de ese número utilizamos el cable del 7 AWG que es el inmediato superior

Regulador-baterías**Figura III.8 Conexión serie de baterías**

Como se ve en la figura III.8 y se explico antes, se utilizan 4 baterías de 12V y para dar los 48V es necesario conectarlas en serie.

Datos:

Longitud 4 metros

Amperaje 26

Con una caída del 1% a 48 V (0.48 amp)

De cable de cobre (56)

Utilizando la anterior formula da:

$$(2 \times 4 \times 26) / (56 \times 0.28) = 7.74 \text{ mm}^2$$

Tomando las normas NEC y UL este valor lo le sumamos 25% mas para mayor seguridad ya que estos valores se sacan en un laboratorio a temperatura controlada y no como se va a utilizar en la vida real.

$$7.74 \times 1.25 = 9.68 \text{ mm}^2$$

Como no hay cable de ese número utilizamos el cable del 7 AWG que es el inmediato superior

BATERIAS-INVERSOR

Esto consiste del cable negativo del regulador y desde el último positivo del arreglo de baterías.

Datos:

Longitud 7 metros

Amperaje 26 amp

Con una caída del 1% a 48 V (0.48 amp)

De cable de cobre (56)

Utilizando la anterior formula da:

$$(2 \times 7 \times 26) / (56 \times 0.48) = 13.54 \text{ mm}^2$$

Sumamos 25%

$$13.54 \times 1.25 = 16.93 \text{ mm}^2$$

Utilizamos el cable del 4 AWG que es el inmediato superior

Fusibles

Para los fusibles se ocupa en tres partes:

- ❖ panel-regulador
- ❖ regulador-batería (de valor alto, que solo actué en caso de cortocircuito interno del regulador o similar)
- ❖ batería-inversor
- panel-regulador

Formula:

$$(W / V) \times (1.3) = \text{Amp}$$

$$((280 \times 6) / (48)) \times 1.3 = 45.5$$

- Regulador-baterias

Formula:

$$W / V = \text{Amp}$$

$$((1680) / (48)) \times 1.3 = 45.5$$

Batería-inversor

Formula:

$$W_{\text{pico del inv}} / V = \text{Amp}$$

$$(6000) / (48) = 125$$

III.4 PRESUPUESTO

En la tabla III.3 se muestra una cotización que incluye todos los gastos para llevar a cabo el proyecto de la instalación fotovoltaica, así como los nombres de los diferentes equipos a poner.

NOMBRE	PIEZA	VALOR UNITARIO	TOTAL
Panel solar modelo Suntech STP280-24/Vd Poly	6	17200	103200
Batería Duncan 160ah	4	3570	14280
Phoenix MultiPlus 12/3000/120 (30)	1	46700	46700
Bases para paneles	6	2500	15000
Anaqueles para baterías	1	2800	2800
Sistema de tierra	1	3000	3000
Cables de diferentes diámetros	1	5800	5800
fusibles	1	1500	1500
mano de obra y otros	1	30000	30000
		TOTAL	222280

Tabla III.3 cotización del equipo

Se escogió este por su capacidad es un panel de los más potencia da y ocupa el mismo espacio que cualquier otro panel datos tabla III.4

Modelo	Suntech STP280-24/Vd Poly
Campo de aplicación	
Potencia nominal	280 W \pm 3 %
Tensión máx. del sistema	1000 V CC
Tensión de servicio	35.2 V
Corriente de servicio	7.95 A
Tensión en circuito abierto	44.8 V
Corriente de cortocircuito	8.33 A
Coefficiente de temp. potencia	-0.47 %/°C
Coefficiente de temp. tensión	-0.34 %/°C
Coefficiente de temp. corriente	0.045 %/°C
Temperatura admitida por el panel	-40 a +85 °C
Células por panel	72 uds
Tipo de célula	Silicio policristalino
Dimensiones de la célula (l / a)	156 mm / 156 mm

Tipo de conexión	Radox cables 4 mm ² con Radox conectores solares
Marco de montaje	Aluminio anodizado
Dimensiones (l / a / a)	1956 mm / 992 mm / 50 mm
Peso	27.0 kg (aprox.)
Carga máx.	5400 N/m ²
Garantía de rendimiento *	12 / 25 años
Garantía de producto	5 años
Normas	IEC 61730, IEC 61215 ed. 2, clase de protección 2, marca CE

Tabla III.4 Datos del panel solar

Este control de carga (figura III.9) con inverso se escogió por cuestión de facilidad ya que al tener los dos módulos en uno nos da un uso del espacio menor y un ahorro, como también una mejor integración del sistema ya que este sistema controla mejor la carga de las baterías con el consumo requerido.

Phoenix MultiPlus 12/3000/120 (30)



Voltaje de entrada: 12 v

Voltaje de salida: 230 v

Frecuencia: 50/60 Hz

Tipo de onda: Senoidal

Potencia nominal: 3000 W

Eficiencia: 93%

Intensidad cargador: 120 Amp.

Rele de transferencia automático: 30 Amp.

Dimensiones: 362x258x218 mm.

Peso: 18 Kg.

Figura III.9 inversor

Estas baterías (figura III.10) se escogieron de este tipo y marca por su capacidad de acumulación así como su venta en el país, ya que si se necesitan cambiar o salen defectuosas es más rápido, fácil y económico, llevarlas o conseguir las a un lugar dentro del país y no enviarlas o pedir las al extranjero para su reposición.

Acumuladores solares DUNCAN

Baterías para sistemas solares – energía renovable
Ya se trate de su residencia de fin de semana, de una casa móvil, de una embarcación, o de la fuente de alimentación móvil para su radio o TV: con un sistema de placas solares y una batería de Johnson Controls, usted contará con una solución avanzada y económica para su necesidad de alimentación móvil. Incluso por la noche o en días nublados tendrá la certeza de contar con una fuente de energía fiable.



Figura III.10 Baterías Duncan

MODELO	Ah	Volts	Tamaño
SP 140	140 Ah	6 V	258*178*284
SP 65	65 Ah	12 V	253*165*252
SP 90	90 Ah	12 V	295*166*235
SP130	130 Ah	12 V	500*180*240
SP160	160 Ah	12 V	500*220*240
SP200	200 Ah	12 V	500*275*240

Las bases y el anaquel se necesitan mandar hacer con un herrero ya que mandarlas importar es más costoso y puede ser que no estén adaptadas para el ángulo en que lo necesitamos.

Los cables se utilizaran ya sea condumex o una marca del la misma calidad, en sus medidas correspondientes.

Fusibles se ocuparan de cartuchos y específicos para corriente continua excepto en la parte de inversor a caja de fusibles que se utilizara termo-magnético para corriente alterna.

Este precio es por la mano de obra de los trabajadores que monten el sistema, el diseño del sistema y otros componentes como pueden ser las zapatas, el electrodo, los señalamientos, abrazaderas, conductos, etc. Ya que estos por su carácter de ser piezas sueltas y no especificadas hasta no terminar el proyecto no se puede poner un valor independiente.

III.4 INSTALACION

Comencemos con darnos una idea del lugar donde se hace la instalación para eso nos servirá un plano del lugar (figuras III.11 a, b y c), y también el plano eléctrico (figura III.12 a, b y c)

Luego tenemos que tener nuestro diagrama de conexión (figura III.13) para tener una mejor idea de cómo vamos a colocar y donde lo vamos a hacer.

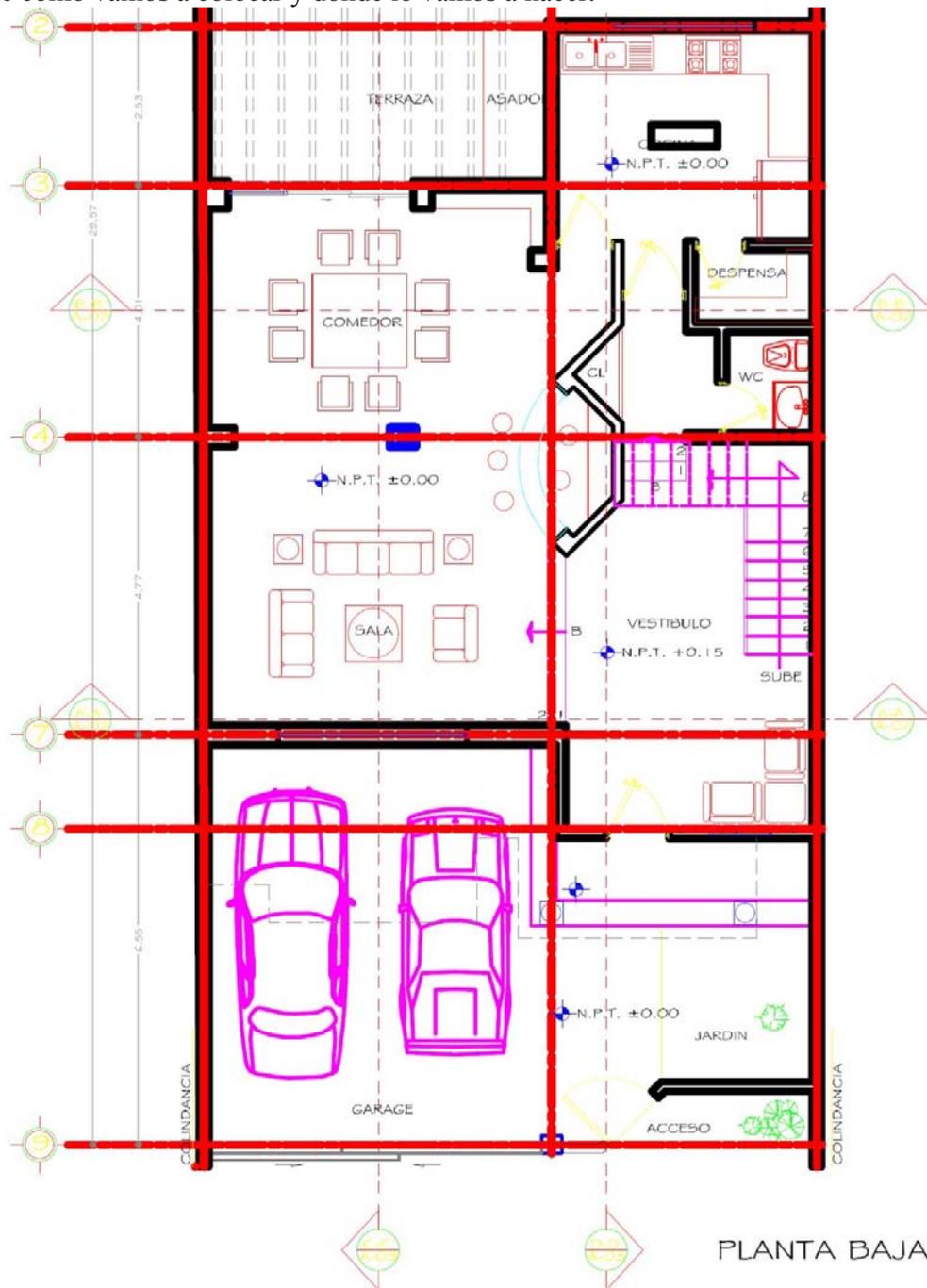


Figura III.11 a Primer piso plano arquitectónico

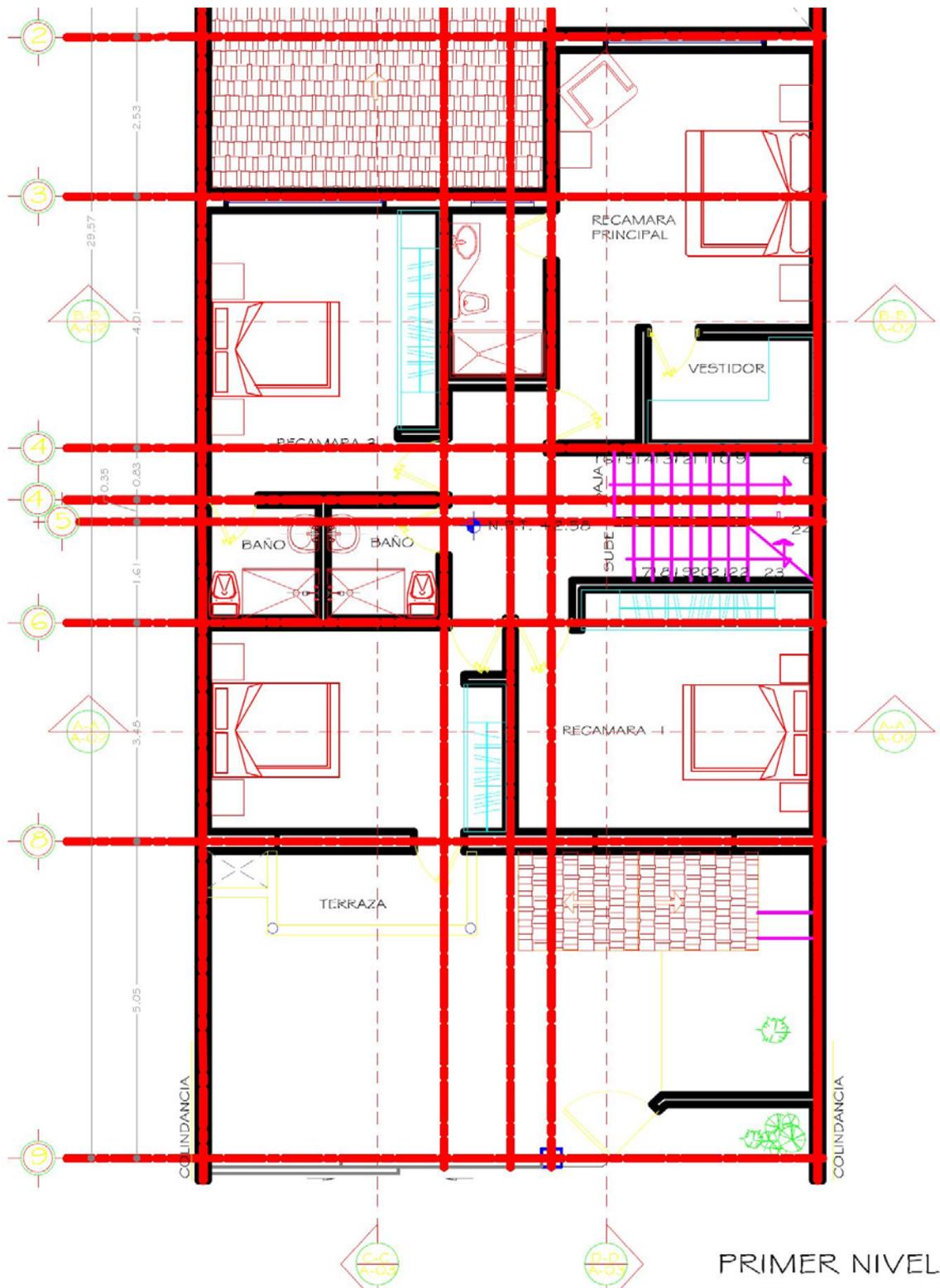


Figura III.11 b Segundo piso plano arquitectónico

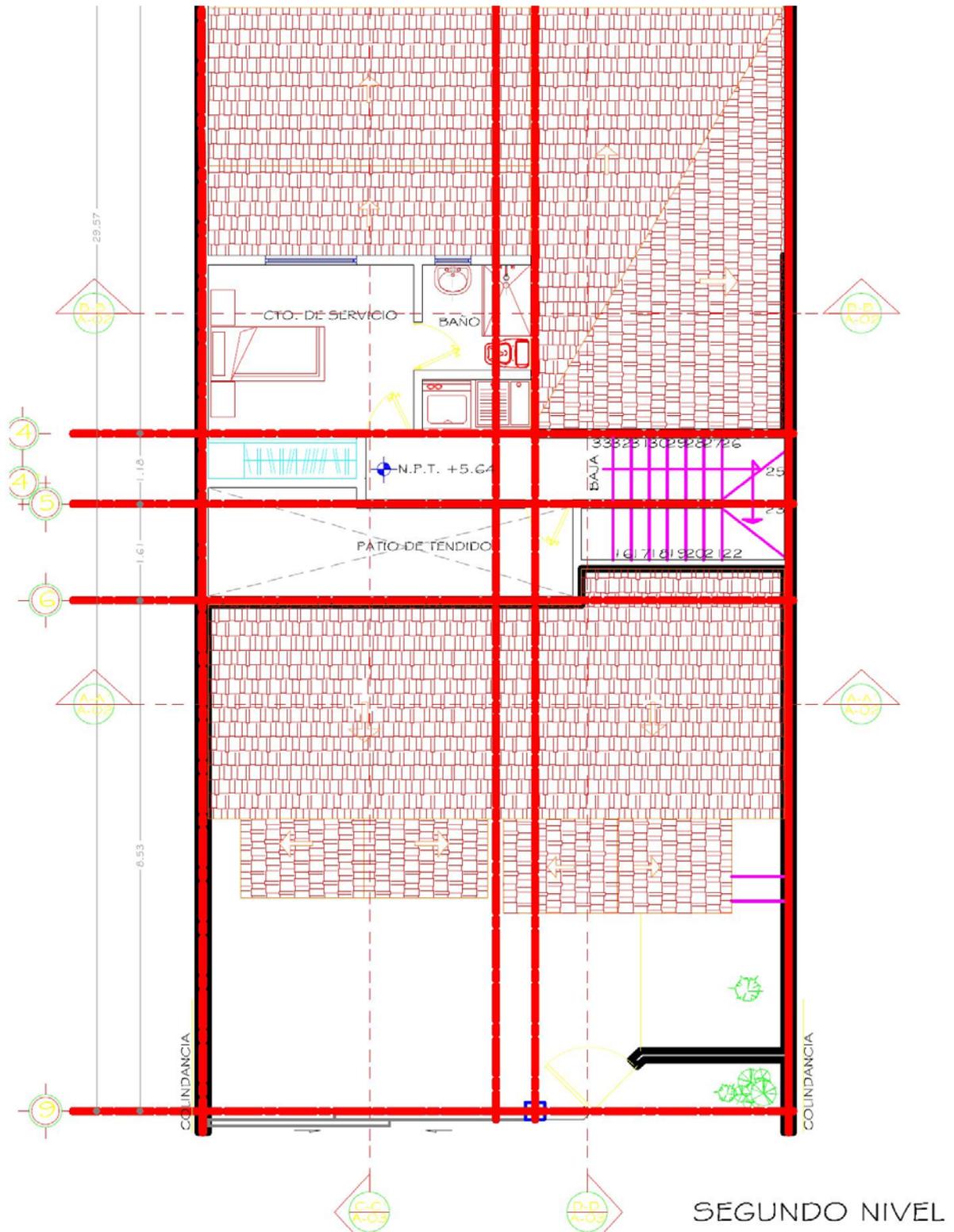


Figura III.11 c Tercer piso plano arquitectónico

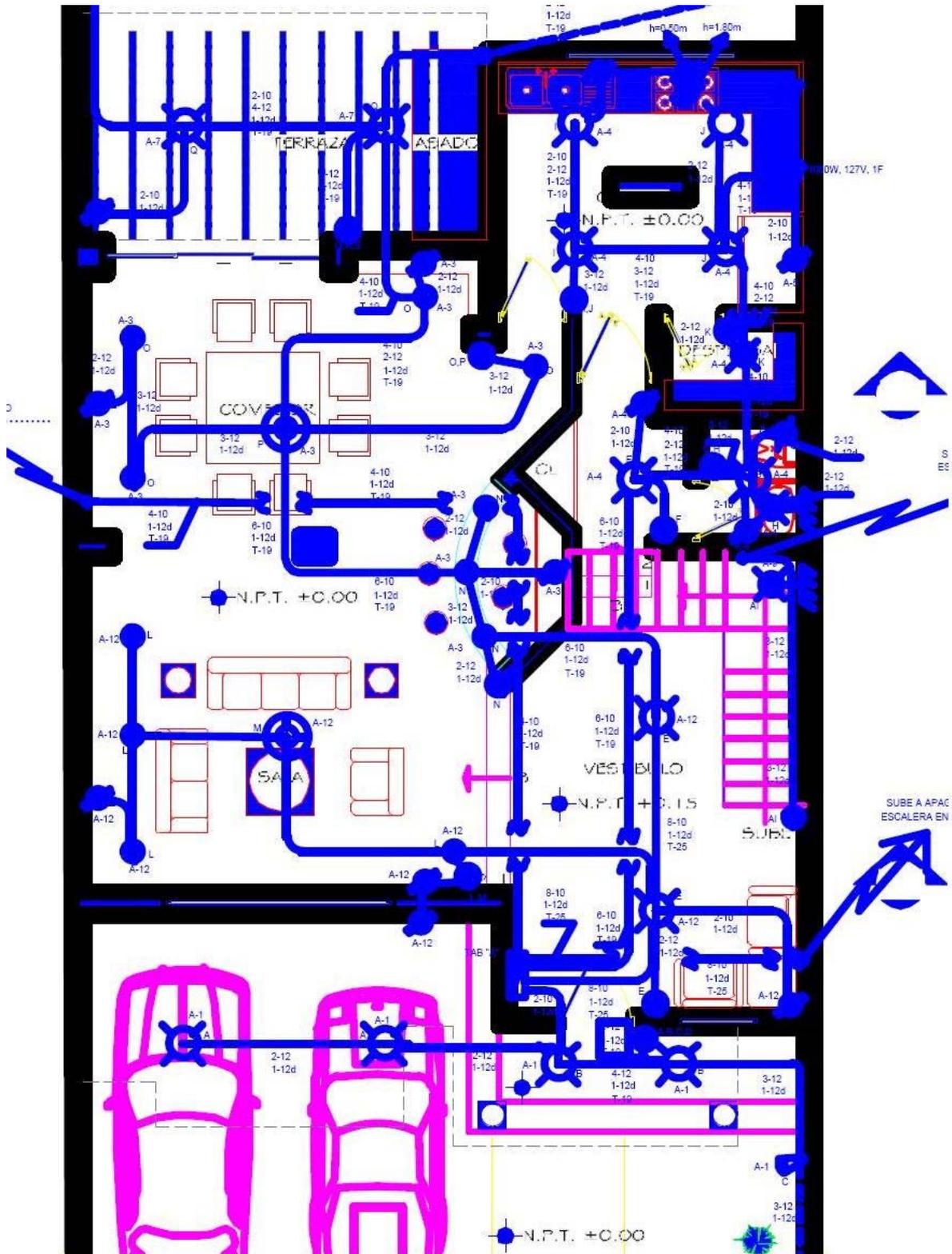


Figura III.12 a Primer piso plano eléctrico

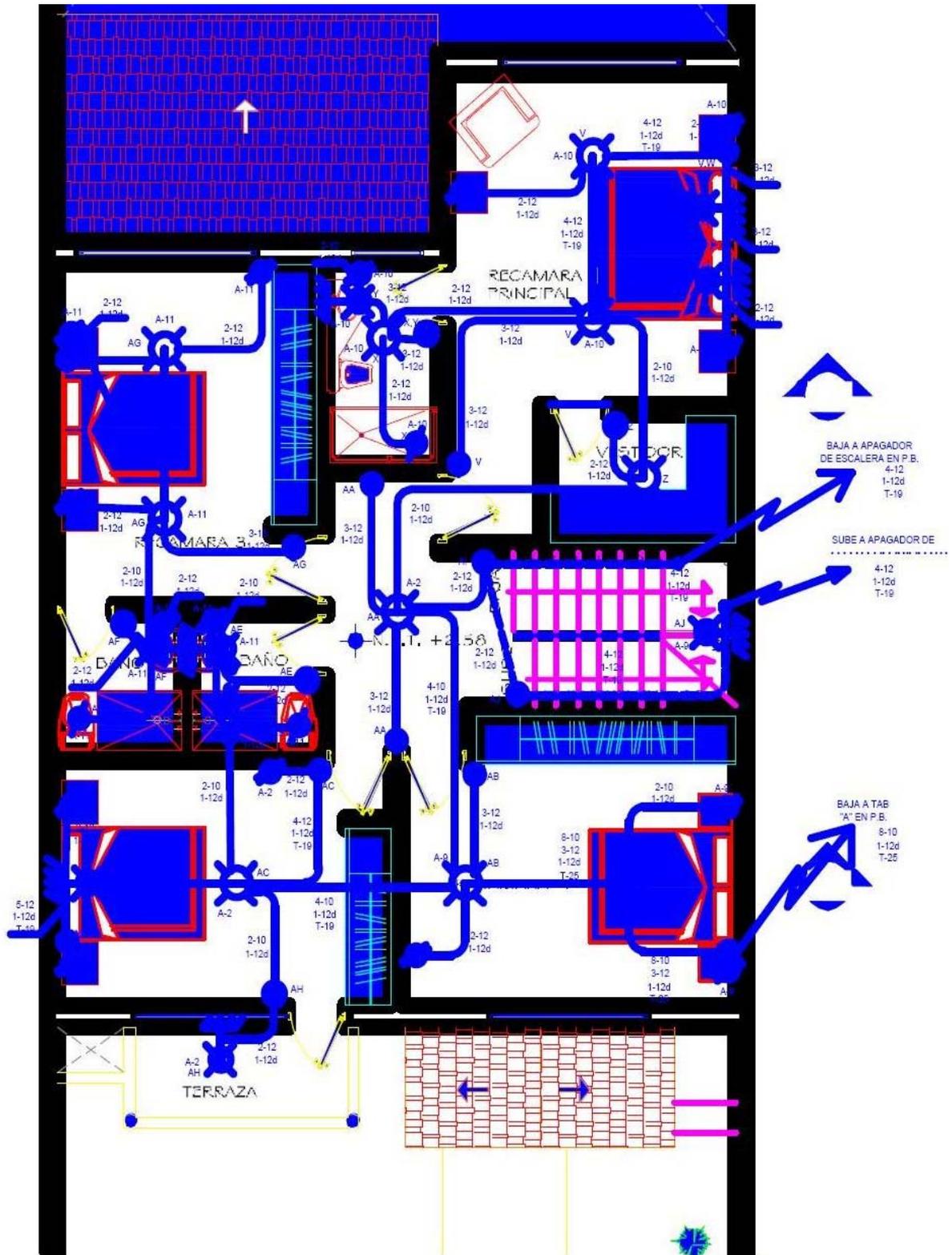


Figura III.12 b Segundo piso plano eléctrico

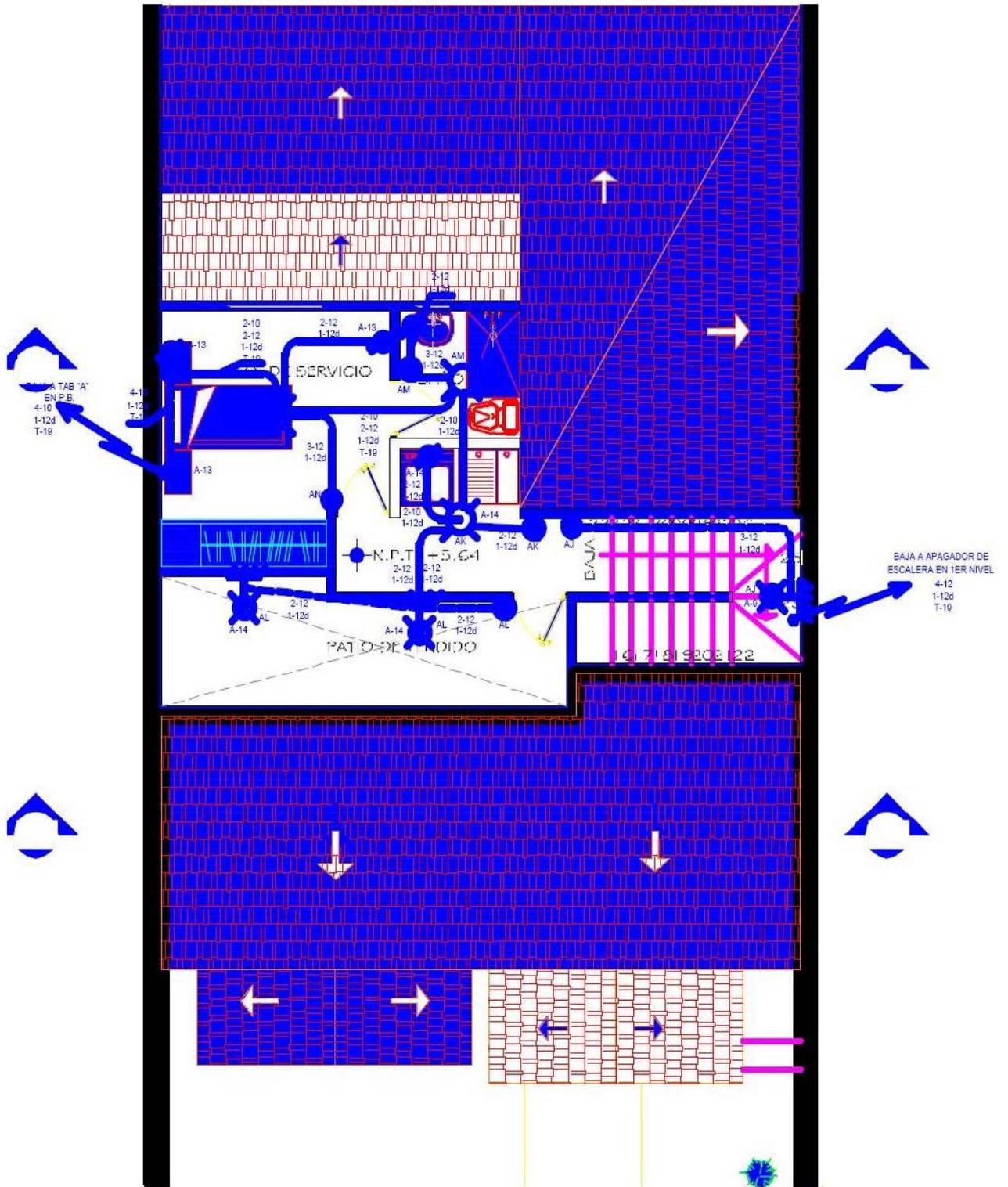


Figura III.12 c Tercer piso plano eléctrico

Instalación Eléctrica

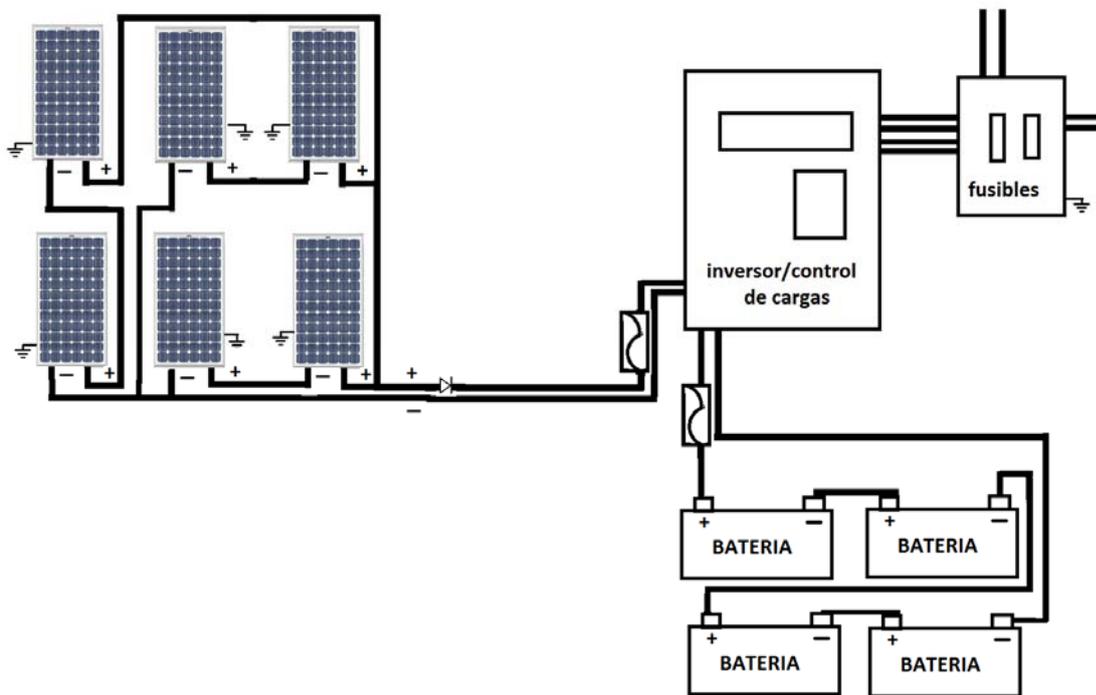


Figura III.13 Diagrama de la instalación

Ahora que sabemos dónde se va hacer el proyecto y sabemos cómo y cuantas partes es en el proyecto, es hora de ver su latitud, orientación y ubicación de los paneles, las baterías y el inversor.

La latitud del lugar es de 19° esto nos indica que los paneles deben tener un Angulo igual al de la latitud eso es 19° para otoño y primavera, en invierno debe de aumentársele entre 5° a 10° de inclinación ya que el sol está en una posición más baja y en verano se debe de hacer lo contrario restar de 5° a 10° por la razón de que el sol esta mas alto.

Es Noroeste y los paneles deben de estar dirigidos al sur para captar el mayor tiempo el sol.

Por último se designa el mejor lugar, para los paneles es el techo del 2º piso en la parte de enfrente, ya que como la acometida de energía como la caja de fusibles están detrás de la puerta principal, y ese mismo lugar se pondrá el inversor y las baterías, y evitando que el cable sea demasiado largo se decidió por esa ubicación.

III.4.1 PASOS DE LA INSTALACION:

Al fin es hora de empezar seguiremos estos pasos:

1.- El primer paso en la instalación es comprobar el estado del techo donde se van a colocar los paneles solares (figura III.14), esto es que se verifica el angulo si lo hay y si no se coloca un armazón con el Angulo necesario que para este proyecto es de entre 25-30°, para maximizar el desempeño de las placas, también darle un tratamiento al mismo para prevenir cualquier tipo de transminacion antes de instalar, ya que los paneles o las estructuras que van a ser fijadas en el techo por medio de tornillos, estos pueden deteriorar el estado de la superficie del techo provocando la transminacion del agua, una vez fijado la estructura y los paneles será difícil removerlos para dar mantenimiento a la azotea en caso de un problema de transminacion.

2.- Puesto el armazón (figura III.14) para el angulo correcto de inclinación se para a la colocación de los paneles solares, para esto se utiliza un marco que ayuda a la sujeción con el armazón de los paneles, cada panel con su marco debe de estar a una distancia de entre 5-7 mm unos de otros para evitar daño entre ellos ya sea por el aire o por otras causas, es muy importante sujetarlos de forma segura ya que los vientos o la limpieza para quitarles el polvo y suciedad acumulados pueden hacer que estos se muevan o se lastimen teniendo que remplazarlos y generando gastos o mal funcionamiento del sistema.

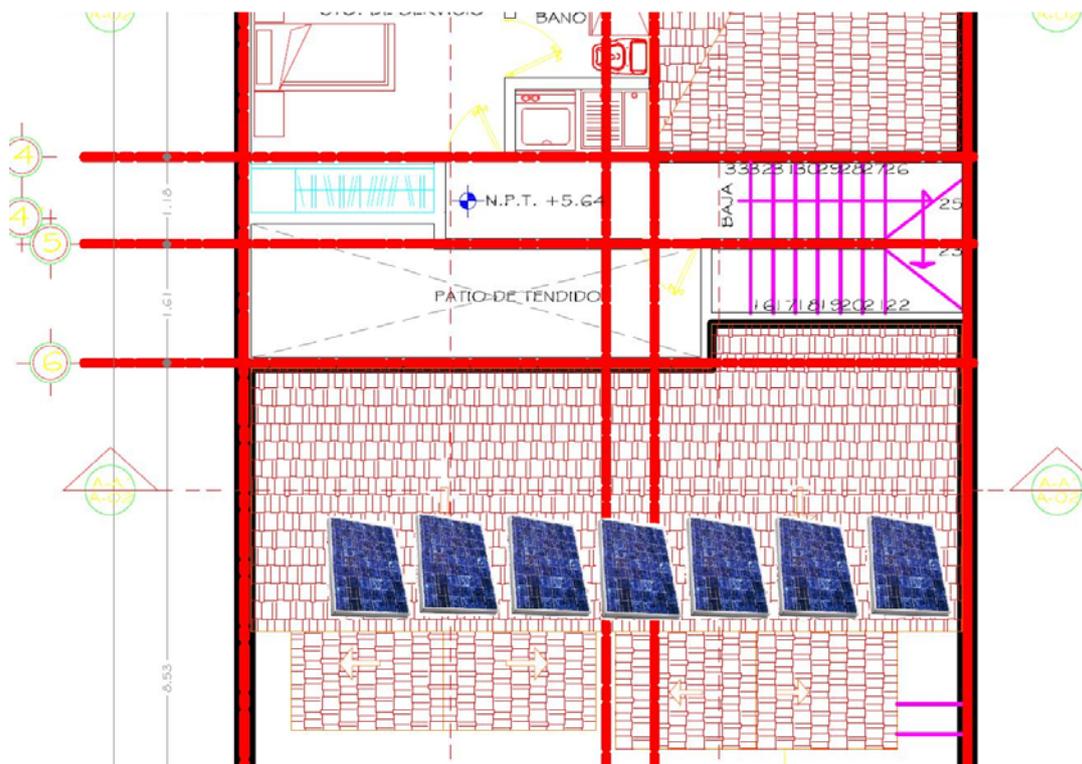
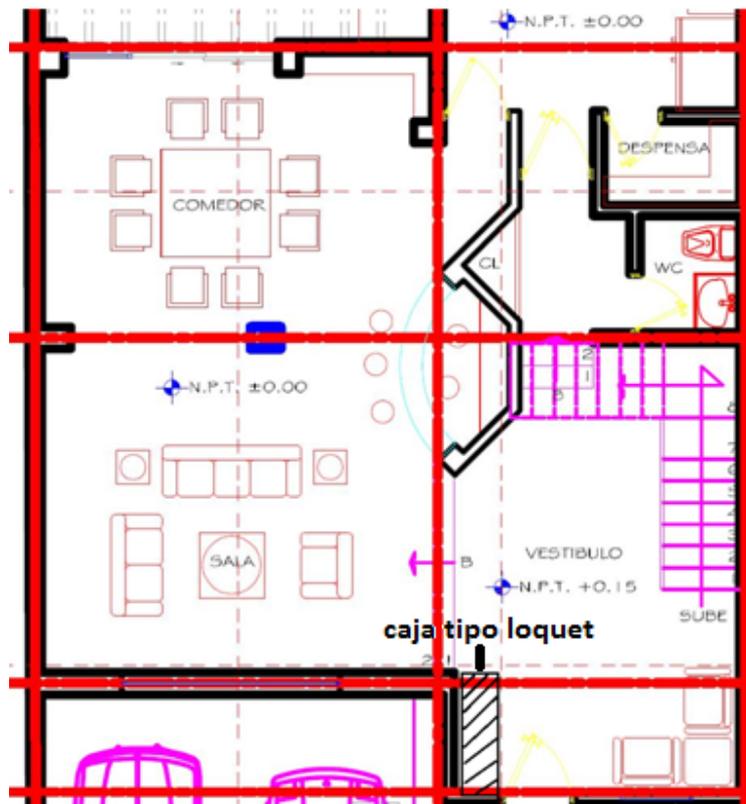


Figura III.14 Localización del lugar de los paneles

3.- Se conectan los paneles en grupos de 2 paneles en serie y luego en paralelo esto es para controlar el voltaje aumentando a 48V y bajamos el amperaje que sería de 26 A, con esto se permite bajar el Amp. haciéndolo más fácil de manejar y transportar y utilizar un cableado mas pequeño que nos ahorra dinero y es menos el espacio utilizado, esto también nos ayuda a hacer mas estable nuestro sistema y menos peligroso en comparación con un sistema de 12V, por eso es mejor un sistema a 48V pero como hay pocos equipos para ese voltaje los vuelve mas caros y mas difíciles de encontrar remplazos.

4.- Las baterías para mayor seguridad y teniendo controlador de carga se hacen un grupos en este grupo hay 4 baterías estas se conectan en serie para poder trabajar a 48V, y luego al controlador de carga se conectan en serie a la línea que viene de las placas fotovoltaicas, esto nos ayuda a que haya menos posibilidades de explosión por sobre carga también estas baterías deben ir en un cuarto bien ventilado y en un anaquel especial mente tratado para soportar los líquidos que expulsan al ser cargadas las baterías. En este caso se opto por un anaquel cerrado tipo locket puesto atrás de la puerta principal (figura III.15) ya que hay se encuentra la caja de fusibles de la residencia y .a toma de corriente de la red de energía. Se coloca un fusible de protección de 45 Amp entre el cargador de baterías y las baterías.



(figura III.15) localización del banco de baterías e inversor

5.- Se coloca un fusible de 45A para protección antes del Phoenix MultiPlus 12/3000/120 (30) ya que este aparato hace múltiples trabajos en nuestro sistema como es

generador de onda pura de 3000W/230V, hace el trabajo de conmutador con la línea de energía de la compañía y trabaja como cargador de baterías, este fusible nos permite proteger tanto los paneles, las baterías y el multiplus, además se podrían poner unos diodos entre los paneles y las baterías para así impedir el retorno de energía a los mismos, ya que los paneles al no generar energía consumen una cantidad y eso lo tenemos que evitar que la tomen de las baterías.

6.- Por último se coloca una caja de fusibles (125 Amp) y un sistema de tierra para proteger las líneas tanto de la residencia como de la instalación fotovoltaica, se conectan la línea de alimentación de la red eléctrica, se hacen mediciones preliminares para evitar fallos al momento de conectarla a la red de la casa y se verifica el funcionamiento del conmutador para emergencias. Así como verificar que el cableado no este en ningún punto caliente y que los fusibles estén trabajando como deben, una vez hecho todo esto se pasa a la conexión de la red eléctrica de la casa al sistema fotovoltaico.

PRUEVAS Y CHEQUEOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Es recomendable hacer por lo menos 3 chequeos periódicos en su sistema fotovoltaico por año, así se pueden detectar y corregir pequeños problemas, antes que lleven a una falla total en la operación del sistema, por esto se dice que el mantenimiento preventivo es el mejor mantenimiento. Es indispensable revisar el sistema cuando está funcionando correctamente y no esperar a que la falla ocurra, es importante aprender del equipo y saber que se espera de él cuando está funcionando correctamente, de hecho se puede hacer la mayor parte de la revisión, con un multímetro común.

Muchas fallas son evitables si se hacen inspecciones y se toman acciones correctivas antes que el problema cause fallas en la operación del sistema. Esto es más fácil aún siguiendo la rutina básica.

1. Revise todas las conexiones del sistema, Las conexiones de las baterías pueden limpiarse y tratarse periódicamente, con anticorrosivos de uso común en la industria de auto partes.
2. Examine el nivel de liquido del electrolito (ácido) en la batería, que esté de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, este chequeo debe hacerse después de una recarga completa al banco de baterías y con el nivel de electrolito de acuerdo a las especificadas por el proveedor.
3. Tome muestras del voltaje de cada batería cuando éstas estén bajo carga, si el voltaje de alguna difiere más de un 10% del promedio de los voltajes de las demás, indica que existe un problema con esa batería.
4. Haga un reconocimiento en el sistema de cableado, si el cableado ha estado expuesto al sol, a la corrosión durante algún tiempo o a sobre carga, es posible que se puedan formar grietas en la cubierta de éste o hinchazón del aislante, esto provocará pérdidas de energía. Aísle lo mejor posible todos los conectores de energía para evitar este tipo de fallas.
5. Registre todas las cajas de conexiones que estén correctamente selladas, incluyendo las del panel, controladores, etc., puntos de interconexiones, así mismo cerciórese si existe corrosión o daños causados por el agua. Si se tienen componentes

- electrónicos montados dentro de un gabinete, asegúrese que tengan buena ventilación.
6. Inspeccione las piezas de la estructura soportante de los módulos. Al mover suavemente algún módulo de arreglo, vea si existe alguna pieza floja o suelta que pueda causar problemas.
 7. Revise la operación de los interruptores y fusibles, asegúrese que el movimiento del interruptor sea sólido, vea si existe corrosión tanto en los contactos como en los fusibles.
 8. Verifique los voltajes de los paneles, regulador de carga, baterías, inversor así como de los fusibles. También es buena idea revisar en los mismos puntos el amperaje y llevar una bitácora de estas lecturas.

III.5 Cumplimientos de normas y regulaciones

Instalación eléctrica de la casa debe de estar certificada por la NOM-001-SEDE-2005, como en este proyecto nosotros no hacemos esta instalación se le pedirá al dueño que nos muestre su autorización de instalación o se le tramitara uno para comprobar el buen funcionamiento de la instalación. Esto también debe de incluir el del sistema a tierra de esta instalación que es independiente a nuestra puesta en tierra.

En cuanto a nuestra instalación los paneles, el control de carga/inversor están certificados por NEC y esta es homologada a la certificación del Gobierno Mexicano. En cuanto a los cables, al electrodo y las baterías están certificadas por normas Mexicanas ya que unas están hechas en el país y otras se venden dentro del país por lo cual deben y están certificadas.

Estos certificados deben ser entregados por el fabricante, y el instalador debe de dar un juego de ellos tanto a la empresa suministradora de energía (CFE) como al usuario en sus documentos de todo el sistema.

En cuanto al sistema de tierra del sistema fotovoltaico esta dentro de la NOM-001-SEDE-2005 apartado 250.

En lo referente del sistema solar en si esta dentro de los lineamientos de la NOM-001-SEDE-2005 apartado 690.

Teniendo todo eso en cuenta se realizara el contrato con la empresa suministradora de energía (CFE) así como otros trámites que son:

- 1.- Estudio de factibilidad de interconexión (si todavía no está conectado)
- 2.- Estudio de porteo (si todavía no está conectado)
- 3.- Contrato de interconexión (si todavía no está conectado)

- 4.- Convenio de compra-venta de excedentes de energía
- 5.- Convenio de transmisión (solo si se va a vender a otro país o se va a ocupar en otro lugar el excedente)
- 6.- Contrato de respaldo

DECLARACIONES

I. Declara el **Suministrador** que:

- (a) Es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, que se rige por la **Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica** y su Reglamento, y acredita tal carácter en los términos Comisión Federal de Electricidad.
- (b) Su representante, el señor Mario Villegas Zarate cuenta con todas las facultades necesarias para comparecer a la celebración del presente contrato, según consta en la escritura pública número 19582 de fecha 1 de julio de 2007, pasada ante la fe del señor licenciado Ernesto Montiel Moreno. Notario Público No. 16 de la ciudad de Guadalajara.
- (c) Tiene su domicilio en Rio Rodano 148 Cuautemoc, mismo que señala para todos los fines y efectos legales del presente **Contrato**.
- (d) El presente **Contrato** es aplicable a todos los **Generadores con Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala** con capacidad hasta de 30 kW, que se interconectan a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del **Sistema del Suministrador** para portear energía a sus cargas.

II. Declara el **Generador** que:

- (a) (Opción 1. persona física): Es una persona física que comparece por su propio derecho con capacidad jurídica para contratar y obligarse en términos del presente Contrato y se identifica con _____, expedida por _____, de fecha _____.
(Opción 2. persona moral): Es una sociedad mexicana, constituida de acuerdo con la escritura No. 40213 de fecha 21 de septiembre del 2009, pasada ante la fe del licenciado Jaime Martinez Sanchez, Notario Público No. 6 de la ciudad de México, e inscrita en el Registro Público de Comercio de 4 bajo el número 514682.]

Su representante Rafael Vega Bonilla, quien actúa con el carácter de representante, cuenta con todas las facultades necesarias para la celebración del presente contrato, según se desprende de la escritura pública No 40213. de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado Jaime Martinez Sanchez, Notario Público No. 6 de la ciudad de México e inscrita en el Registro Público de Comercio de 4 bajo el número 514682].

- (b) Tiene su domicilio en norte 82ª No. 6129 col. Gertrudis Sánchez, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este **Contrato**.
- (c) Se obliga a proporcionar al **Suministrador**, el anexo que formará parte del **Contrato**, el cual se describe a continuación:
Anexo E-RNT Características de los equipos de medición y comunicación.

CLAUSULAS

PRIMERA. Objeto del **Contrato**. El objeto de este **Contrato** es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador** y la **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala** del Generador;

SEGUNDA. Definiciones. Los términos que aparecen en este **Contrato**, ya sea en el propio cuerpo o en cualquiera de sus anexos, con inicial mayúscula y negrillas tendrán el significado que se les asigna en esta cláusula segunda. Dicho significado se aplicará al término tanto en singular como en plural.

- **Contrato.** El presente **Contrato** para **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala** incluyendo todos y cada uno de sus anexos.
- **Generador.** La persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala**.
- **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala:** Es la que utiliza como energético primario la energía solar.
- **Ley.** La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Parte o Partes del contrato.** La Comisión Federal de Electricidad o Luz y Fuerza del Centro y la persona física o moral que suscribe el **Contrato**.
- **Sistema.** El Sistema Eléctrico Nacional propiedad de los **Suministradores**.

TERCERA. Vigencia del **Contrato**. El presente **Contrato** surtirá sus efectos a partir de la fecha en que sea firmado por ambas **Partes** y tendrá una duración indefinida.

CUARTA. Terminación anticipada y rescisión. El presente **Contrato** podrá darse por terminado anticipadamente por cualquiera de las causas siguientes:

- a) Por voluntad del **Generador**, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Generador** al **Suministrador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- b) Por necesidades del servicio, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Suministrador** al **Generador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- c) Por acuerdo de las **Partes**.

El presente **Contrato** podrá rescindirse por contravención a las disposiciones que establece la **Ley**, el **Reglamento** y las demás disposiciones aplicables al **Contrato**, siempre y cuando dicha contravención afecte sustancialmente lo establecido en este **Contrato**.

Mientras no se rescinda el **Contrato**, cada **Parte** seguirá cumpliendo con sus obligaciones respectivas al amparo del mismo.

QUINTA. Entrega de energía por el **Generador**. El **Generador** se compromete a poner a disposición del **Suministrador** energía producida por la **Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala**, y el **Suministrador** se compromete a recibirla hasta por un total igual a la energía asociada a la potencia de kW.

La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:

Para usuarios con servicio de uso residencial: hasta 10 kW

Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión: hasta 30 kW

SEXTA. Interconexión. Las inversiones necesarias para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios serán a cargo del **Generador**.

Asimismo, será a cargo del **Generador** cualquier modificación que sea necesario realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del **Suministrador** y previa autorización de éste.

Las instalaciones y equipos necesarios en el Punto de Interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la conexión con el **Sistema**, deberán cumplir con las especificaciones conducentes del **Suministrador** y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Las características de estas instalaciones y equipos, serán las establecidas por el **Suministrador**.

SEPTIMA. Medición. Los medidores y los equipos de medición a ser usados para medir la energía entregada por el **Generador** al **Suministrador** y la que entregue el **Suministrador** al **Generador**, serán instalados por el **Suministrador** a costa del **Generador**, en el entendido que éste únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición neta y el costo del equipo convencional que instalaría el **Suministrador** para la entrega de energía eléctrica que corresponda. Los medidores tendrán características y especificaciones similares a los instalados por el **Suministrador** y deberán permitir la medición neta (Net Metering) entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la energía eléctrica entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

El **Generador** puede instalar y mantener a su propia costa, medidores y equipo de medición de reserva en el Punto de Interconexión adicionales a los mencionados en el párrafo anterior de esta cláusula, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas que tiene establecidas el **Suministrador** para ese propósito.

OCTAVA. Contrato de Suministro. El **Generador** se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del **Suministrador**.

NOVENA. Facturación y pagos. Para fines de facturación, el consumo de kWh del **Generador**, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del **Generador** que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el **Generador** renuncia a cualquier pago por este concepto.

Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del **Suministrador** y se facturará en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava.

DECIMA. El **Generador** se obliga a no intervenir ni modificar los equipos en sus instalaciones que están asociados a la desconexión de su fuente de energía, ni a los asociados a la desconexión de sus instalaciones de las instalaciones del **Suministrador**. En caso contrario, el **Generador** deberá responder de los daños y perjuicios que cause el **Suministrador**.

DECIMA PRIMERA. Lugar de pago. Todos los pagos se harán en moneda de curso legal en los Estados Unidos Mexicanos en las oficinas de atención al público del **Suministrador** o en las instituciones o medios que éste establezca.

DECIMA SEGUNDA. Para lo no establecido en el presente Contrato, se aplicarán las disposiciones del contrato de suministro de energía eléctrica mencionado en la cláusula octava así como a lo dispuesto en las disposiciones jurídicas aplicables.

DECIMA TERCERA. Modificaciones. Cualquier modificación al presente **Contrato** deberá formalizarse por escrito y ambas **Partes** deberán suscribir el convenio correspondiente.

DECIMA CUARTA. Caso fortuito y Fuerza mayor. Las **Partes** no serán responsables por el incumplimiento de sus obligaciones cuando el mismo resulte de caso fortuito o fuerza mayor.

DECIMA QUINTA. Cesión de derechos. El **Generador**, tiene prohibida la cesión parcial o total de los derechos y obligaciones derivadas del presente **Contrato**, sin la previa autorización por escrito del **Suministrador**.

DECIMA SEXTA. Legislación y tribunales. El presente **Contrato** se rige e interpreta por las leyes federales de los Estados Unidos Mexicanos y, en particular, por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. Las controversias que surjan del presente contrato serán competencia de los tribunales federales en la ciudad _____ y al efecto las partes renuncian al diverso fuero que pudiere corresponderles por razón de su domicilio u otras causas.

Este **Contrato** se firma en 2 ejemplares en la Ciudad de Mexico , el 21 de Diciembre de 2009 .

EL SUMINISTRADOR

EL GENERADOR

Las firmas y antefirmas que anteceden corresponden al **Contrato** celebrado entre el **Suministrador** y el **Generador**

III.6 MANTENIMIENTO

Manual de mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica

Las instalaciones solares fotovoltaicas, en su conjunto, son fáciles de mantener. Sin embargo, una instalación que no tenga el mantenimiento adecuado fácilmente tendrá problemas en un plazo más o menos corto.

Hay tareas de mantenimiento que de no llevarse a cabo conducirán simplemente a una reducción del rendimiento de la instalación, pero la omisión de otras podrían provocar el deterioro de algunos de los elementos o el acortamiento de su vida útil.

Por todo lo anterior hay un conjunto de tareas que pueden ser realizadas perfectamente por el usuario para alargar la vida útil de estos sistemas.

Mantenimiento del panel fotovoltaico

El mantenimiento básico del panel solar fotovoltaico comprende las acciones siguientes:

- Limpie sistemáticamente la cubierta frontal de vidrio del panel solar fotovoltaico (se recomienda que el tiempo entre una limpieza y otra se realice teniendo en cuenta el nivel de suciedad ambiental. Para las condiciones de la ciudad de México se

aconseja cada dos meses como mínimo). La limpieza debe efectuarse con agua y un paño suave; de ser necesario, emplee detergente.

- Verifique que no haya terminales flojos ni rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se hallen en buenas condiciones. En caso de detectar anomalías, contacte al personal especializado.
- Verifique que la estructura de soporte esté en buenas condiciones. En caso de que esta no se encuentre protegida contra el medio-ambiente (es decir, que no sea de aluminio, acero inoxidable o galvanizado), dar tratamiento con pintura antioxidante.
- Puede sistemáticamente los árboles que puedan provocar sombra en el panel solar fotovoltaico. No ponga objetos cercanos que puedan dar sombra, como los tanques de agua y las antenas. En el caso de los árboles se debe prever su poda cuando sea necesario.

¡Advertencia!

Nunca trate de limpiar suciedades en la cubierta frontal del panel solar fotovoltaico con objetos cortantes o punzantes que puedan dañarlo.

Mantenimiento de la batería de acumulación

La batería de acumulación es el elemento de los sistemas solares fotovoltaicos de pequeña potencia que representa mayor peligro para cualquier persona necesitada de manipularla (aunque sea para un mantenimiento básico), tanto por sus características eléctricas como por las químicas. Por tanto, antes de brindar las reglas de mantenimiento básico se exponen los riesgos fundamentales que pueden ocurrir, así como algunas recomendaciones y consideraciones que deben tenerse en cuenta para evitar accidentes.

Riesgos del electrólito

El electrólito utilizado en las baterías de acumulación de plomo-ácido (comúnmente usadas en estos sistemas) es ácido diluido, el cual puede causar irritación e incluso quemaduras al contacto con la piel y los ojos.

Los procedimientos siguientes se indican para evitar daños personales o disminuir sus efectos:

- Si por alguna razón el electrólito hace contacto con los ojos se deben enjuagar inmediatamente con abundante agua durante un minuto, manteniendo los ojos abiertos.
- Si el contacto es con la piel, lave inmediatamente con abundante agua la zona afectada.
- En ambos casos, después de esta primera acción neutralizadora, solicite rápidamente atención médica.

Riesgos eléctricos

La batería de acumulación puede presentar riesgos de cortocircuitos. Se recomienda al manipularlas observar las siguientes reglas:

- Quítese relojes, anillos, cadenas u otros objetos metálicos de adorno personal que pudieran entrar en contacto accidentalmente con los bornes de la batería de acumulación.
- Siempre que las necesite, use herramientas con mangos aislados eléctricamente.

Riesgos de incendio

Las baterías de acumulación presentan riesgos de explosión y por consiguiente de incendio, debido a que generan gas hidrógeno. Se recomienda lo siguiente:

- Proporcione una buena ventilación en el lugar de ubicación de la batería de acumulación para evitar acumulación de gases explosivos.
- No fume en el área donde está ubicada la batería de acumulación ni prenda chispas para observar el nivel del electrólito.
- Mantenga el área de la batería de acumulación fuera del alcance de llamas, chispas y cualquier otra fuente que pueda provocar incendio.
- No provoque chispas poniendo en cortocircuito la batería para comprobar su estado de carga, pues también puede provocar explosión.

Mantenimiento básico

El mantenimiento básico de la batería de acumulación comprende las siguientes acciones:

- Verifique que el local de ubicación de las baterías de acumulación esté bien ventilado y que las baterías se encuentren protegidas de los rayos solares.
- Mantenga el nivel de electrólito en los límites adecuados (adicione solamente agua destilada cuando sea necesario para reponer las pérdidas ocasionadas durante el gaseo). Se recomienda, que siempre el electrólito cubra totalmente las placas, entre 10 y 12 mm por encima del borde superior. En caso de que la caja exterior de la batería de acumulación sea transparente y posea límites de nivel del electrólito, este se situará entre los límites máximo y mínimo marcados por el fabricante.
- Limpie la cubierta superior de la batería y proteja los bornes de conexión con grasa antioxidante para evitar la sulfatación.
- Verifique que los bornes de conexión estén bien apretados.
- Verifique que el uso de las baterías sea el adecuado y que su estructura de soporte esté segura y en buen estado.

Mantenimiento al controlador de carga para batería de acumulación

- Mantenga el controlador de carga colocado en posición correcta, lugar limpio, seco y protegido de los rayos solares.
- Chequee el funcionamiento correcto del controlador de carga. Si detecta ruidos anormales, contacte al personal especializado.
- Verifique que las conexiones estén correctas y bien apretadas.
- Chequee que el fusible de entrada esté en buen estado.

Nota: En caso de que el controlador de carga no funcione, contacte con el personal especializado.

Mantenimiento al inversor o convertidor

- Verifique que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca y bien ventilada.
- Verifique que el inversor esté protegido de los rayos solares.
- Compruebe que el inversor funciona adecuadamente y que no se producen ruidos extraños dentro de él. En caso de que la operación sea defectuosa o no funcione, contacte al personal especializado.

Mantenimiento de equipos de consumo y cableado

- El mantenimiento de los equipos consumidores (radios, televisores, refrigeradores, computadoras, etc.), es el mismo que se le hace a éstos cuando funcionan conectados al Sistema Eléctrico Nacional.
- En el caso del refrigerador, se ubica en un lugar bien ventilado para garantizar un uso más eficiente y por tanto no debe cambiarlo de lugar sin la consulta del especialista.
- Verifique que todos los empalmes y conexiones estén fuertemente apretados para evitar falsos contactos, y protegidos adecuadamente con cinta aislante. Limpie regularmente el tubo fluorescente y la cubierta protectora de las lámparas (en caso que la posea), a fin de obtener un mayor nivel de iluminación.

¡Muy importante!

Si un componente del sistema no funciona adecuadamente contacte inmediatamente con el personal especializado. No acuda a personas no autorizadas ni trate usted mismo de solucionar el problema. Con esta medida se evitan accidentes y daños a la instalación.

Recomendaciones y consejos útiles

- Desconecte los equipos electrodomésticos en los días de tormentas eléctricas fuertes y ciclones para evitar que una descarga atmosférica pueda averiarlos.
- No conecte al sistema equipos electrodomésticos o de otro tipo que no hayan sido considerados en el diseño, sin consultar a los especialistas, ya que una sobrecarga por consumo excesivo puede provocar su mal funcionamiento.

- No permita que otros usuarios se conecten a su instalación (no hacer tendederas).
- No conecte equipos de potencia superior a la del inversor, pues esta sobrecarga puede dañarlo.
- Almacene el agua destilada en recipientes plásticos o de cristal; siempre que vaya a añadir agua destilada a la batería de acumulación, use también embudo de plástico o cristal (en ningún caso emplee recipientes metálicos).
- Una vía para recolectar agua destilada es en los días de lluvia. Una vez que comience a llover, espere de 10 a 15 minutos y luego coloque un recipiente abierto, de plástico o cristal, al aire libre. Nunca recolecte agua de techos, canaletas y otros medios.
- No utilice, en sustitución del agua destilada para rellenar la batería de acumulación, agua de río, hervida u otro tipo que no sea la recomendada, ya que esto daña la vida útil de la batería de acumulación.
- Fíjese regularmente en los indicadores lumínicos del controlador de carga y en caso de notar que alguno de ellos no enciende, contacte inmediatamente al personal especializado.
- Si alguna lámpara no enciende y el tubo fluorescente no está fundido ni defectuoso, revise tanto el fusible (si lo tiene) como el interruptor. Si alguno está defectuoso, reemplácelo por otro.
- Recuerde siempre que en los sistemas fotovoltaicos, como la energía es limitada, se hace mucho más necesario el ahorro al máximo. Por tanto, no mantenga luces o equipos encendidos innecesariamente.

CONCLUSIONES

Las casas-habitaciones alimentadas en dual (energía de la red eléctrica y energía solar) son posibles y viables en México, el problema es que todavía son costosas ya que al ser todavía subsidiada la energía eléctrica en el país, y no haber mas compañías con las cuales vender tu exceso de energía no hace que la gente invierta en estas tecnologías, y no se pueda amortizar los costos con la venta del excedente de energía producida.

En otros países como Japón, Australia, EEUU o Europa se hacen grandes inversiones entre particulares y el gobierno para fomentar estas casas autosustentable eléctricamente, en esos países las tarifas eléctricas están reguladas por el mercado de la oferta y demanda, esto provoca que los precios sean mas altos que en nuestro país volviendo la auto generación mas atractiva al usuario y fomentando su desarrollo y utilización.

En nuestro país tenemos una enorme ventaja a comparación de esos países ya que nuestro país esta en una localización que le permite la generación de energía solar con una media anual de 5 a 5.5 horas por día en comparación de países europeos que tienen una media de entre 2 y 3.5 horas por día. Esto hace que la recuperación de la inversión sea mucho mas rápido que en esos países y que nuestra inversión sea menor por la misma cantidad de generación.

El Gobierno de México está queriendo impulsar esta tecnología para que la gente se auto suministre su energía, ya que para proveer energía a todo el país es necesario una enorme infraestructura y los costos son enormes tanto monetarios como ecológico.

En este proyecto se insta a los que lo lean a que hagan un poco de conciencia para que vean que es muy viable los sistemas de energía solar.

También se intento contestar las preguntas que la gente se hace a base de mitos y mala información:

¿Qué es muy cara? En efecto es cara la instalación fotovoltaica pero es muy redituable ya que en un lapso de 10 años aproximadamente se paga el sistema y los paneles duran entre 20 a 25 años, así que tienes de 10 a 15 años energía gratis.

¿Qué es ineficiente? Si todavía no es lo que debería, pero hoy en día dan un 15% que permite producir lo suficiente para un consumo de una casa ya que nosotros tenemos una ubicación muy buena, en comparación con otros países que si adoptan esta tecnología.

¿Esta tecnología solo provee energía cuando hay sol? En efecto los paneles solares solo generan energía durante las horas de sol, pero esta tecnología viene acompañada de un sistema de baterías que dan energía cuando no hay sol, así que siempre vas a tener servicio.

¿Esta tecnología es solo para expertos? No, hoy en día hay mucha gente que sin ser expertos y con un poco de asesoría puedes manejar muy bien su instalación. Las instalaciones se arman para que no se necesite de personal especializado en su mantenimiento periódico, esto no indica que no sea necesario un experto, pero que solo se le necesite unas 3 veces al año para un chequeo general o un desperfecto grave,

Así como en otras que pudieran hacerse.

También que no son ni muy altos los requerimientos ni tampoco muy difíciles de cumplir para poder tener un sistema de energía solar.

Glosario de términos

Acumulador: Elemento capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo.

Amperio-hora: Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

Baterías: Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

Diodo de bloqueo: Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.

Caja de Conexiones: Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.

CA/AC: corriente alterna

CC: corriente continua

CD/DC: corriente directa

Célula Fotovoltaica: Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

Central Fotovoltaica: Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.

CFE: comisión federal de electricidad

Concentrador: Dispositivo que mediante distintos sistemas, concentra la radiación solar sobre las células fotovoltaicas.

Contador: Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, para que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

Controlador de Carga: Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.

Convertidor Continua - Continua: elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.

CRE: comisión reguladora de energía

Dimensionado: Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.

Efecto Fotovoltaico: Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

Eficiencia: En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.

Electrolito: En el caso de las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos, es una solución diluida de ácido sulfúrico en la que se verifican los distintos procesos que permiten la carga y descarga de la batería.

ER: energías renovables

(FET) Field Effect Transistor. Consiste en un transistor de efecto de campo, es una familia de transistores que se basan en el campo eléctrico para controlar la conductividad de un "canal" en un material semiconductor. Los FET pueden plantearse como resistencias controladas por voltaje.

Fotón: Cada una de las partículas que componen la luz.

Fotovoltaico (FV): Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

Generador: Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones, transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

HSP: (hours sun position) en otras palabras son las horas que el sol está en posición para general energía en nuestra placa.

Inclinación: Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.

Inversor: Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.

Kilovatio (kW): Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.

Módulo o Panel Fotovoltaico: Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Temperatura a la que trabaja una célula en un módulo bajo las Condiciones de Operación Estándar, que es de 20° Centígrados de temperatura ambiente, irradiación de 0.8 kW/m² y velocidad media del viento de 1 m/s, con el viento orientado en paralelo al plano de la estructura y todos los lados de la estructura totalmente expuestos al viento

Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque la diferencia no suponga grandes desviaciones.

Punto de máxima potencia de un Panel: Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.

Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

Regulador: parecido a Controlador de Carga.

Relay es un **relé** o **relevador**, del francés *relais*, relevo, es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835.

Rendimiento: Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento..

STC: Acrónimo del inglés (“Standard Test Conditions”) para designar las condiciones de prueba estándar.

Silicio: Elemento químico del que básicamente se componen las células de un panel solar. Es de naturaleza prácticamente metálica, gris oscuro y de excelentes propiedades semiconductoras.

Sistema Aislado o Remoto: Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. Suelen utilizarse en lugares remotos o de difícil acceso.

Sistema Conectado a Red: Sistema fotovoltaico en el que actúa como una central generadora de electricidad, suministrando energía a la red.

Sistema Híbrido: Sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes que generan electricidad, tales como generadores eólicos o grupos electrógenos.

Tensión de un Circuito Abierto: Es la diferencia de potencial medida entre dos extremos de un circuito eléctrico, cuando éste está abierto y sin carga.

Tensión Nominal: Diferencia de potencial específica, para la que se diseña un equipo o una instalación. Se llama nominal porque la tensión puede variar por distintas circunstancias durante la operación.

Vatio (W): Unidad de potencia eléctrica, que equivale a un joule por segundo.

Vatio Pico: Unidad de potencia que hace referencia al producto de la tensión por la intensidad (potencia pico) del panel fotovoltaico en unas condiciones estándares de medida (STC).

Voltaje: Anglicismo del término Tensión.

Voltio (V): Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz, equivalente a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor cuando al transportar entre ellos un coulomb, abreviatura es “V”. El nombre “voltio ” proviene del físico italiano Alejandro Volta. Un voltio es la tensión eléctrica entre dos puntos de un conductor en el que con un amperio se convierte un vatio.

Bibliografía

INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

Autor Enrique Alcor Cabrerizo
Ed Progensa
272 páginas
3ª ed., 1ª imp. edición (2002).

LA ENERGÍA SOLAR. Aplicaciones prácticas

Autor Colectivo
Ed Progensa
152 páginas
4ª ed., 1ª imp. edición (06/2005)

BASE DE DATOS INTERNACIONAL H-WORLD®

Colectivo autores.
Rústica
1993

ENERGÍA EÓLICA PRÁCTICA

Autor : Gipe, Paul
Editor : Progensa. Promotora General De Estudios, S.A.

SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y EL CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL DE LOS ESTADOS UNIDOS. PRÁCTICAS RECOMENDADAS

Autor Sandia National Laboratories
Editorial censolar (Traducido al castellano por Censolar)

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADAS DE RED

Autor: Sin autor.
Editorial: CENSOLAR
Características: , 56 Págs

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADAS A RED

Autor: Sin autor.
Editorial: CENSOLAR

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Autor: Sin autor.

Editorial: CENSOLAR

FOTOVOLTAICA PARA PROFESIONALES (Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas)

Autor/a: Antony, Falk

Editorial: Promotora General de Estudios, S.A.

Electricidad Solar Fotovoltaica

Autor : *Lorenzo, E.*

Editor : *Progensa. Promotora General De Estudios, S.A.*

Año: 2006

Número de páginas : 199

PONENCIAS DEL CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR 2008

Autor Colectivo

Editorial Progensa

1294 páginas

ACUMULADORES DE ELECTRICIDAD. Manual práctico

Autor Lejardi Lionel

Editorial Progensa

324 páginas

1ª ed. edición (1988)

CUADERNO DE CAMPO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL FOTOVOLTAICA

Autor : *Caamaño-Martin, E.*

Editor : *Progensa. Promotora General De Estudios, S.A.*

Año: 2001

Número de páginas : 82

Fuentes electrónicas

<http://es.wikipedia.org/>

<http://www.solarweb.net>

www.censolar.es

<http://www.solarpowerforum.net>

<http://www.theenvironmentsite.org/forum/solar-energy-forum/>