1. SINTESIS

Utilizando como ejemplo varios sistemas fotovoltaicos distintos como Una Fuente Alterna de Energía Eléctrica, diseñados para satisfacer una amplia variedad de aplicaciones, esta Tesis le demuestra las mejores prácticas recomendadas para seleccionar, instalar y poner en marcha su propio sistema fotovoltaico independiente. En estos ejemplos se incluyen señales de precaución, alumbrado, comunicaciones, uso residencial y bombeo de agua. Para cada uno se indica la determinación de capacidad, alcances y limitaciones, especificaciones de materiales y un análisis de los métodos de instalación. También se describe un método para determinar la capacidad de un sistema sin necesidad de usar una computadora. (Las instrucciones y hojas de cálculos necesarias se suministran en el Apéndice B.)

En cada capítulo se tiene información de cada uno de los dispositivos que constituyen el arreglo adecuado de los diferentes sistemas fotovoltaicos, se indican la forma de instalación, mantenimiento, interconexión y el cálculo del costo del ciclo de vida útil para cada una de las aplicaciones.

En todas partes del mundo se han instalado sistemas fotovoltaicos independientes que funcionan con gran confiabilidad. Estos sistemas tienen muchas ventajas y constituyen la mejor opción para numerosas aplicaciones en sitios remotos. Para poder obtener un desempeño confiable a largo plazo se deben tomar en cuenta los siguientes requisitos de un sistema fotovoltaico:

- Cálculos de capacidad uniformes.
- Conocimientos de la disponibilidad y rendimiento de los materiales.
- Decisión de la forma de instalación del equipo.
- Desarrollo de un programa o plan de operación y mantenimiento.

Todos estos requisitos son analizados en esta Tesis y otros aspectos de los proyectos fotovoltaicos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 OBJETIVO

Proporcionar conocimientos básicos al proyectista o diseñador de Sistema Fotovoltaicos independientes asegurando la confiabilidad del sistema, larga duración, cumpliendo con las normas de ingeniería e instalación y el mantenimiento adecuado.

Demostrar que las aplicaciones que existen de una fuente alterna de energía eléctrica a la convencional, confiable y con mayor futuro para las próximas generaciones.

Uno de los objetivos del proyectista o diseñador de sistemas fotovoltaicos independientes es aprender para asegurar la satisfacción del cliente, proporcionándole un sistema bien proyectado, de larga duración y con una vida útil prevista no menor de 20 años. Esto depende de un diseño adecuado, especificaciones y compra de componentes de alta calidad, buenas normas de ingeniería e instalación y un programa uniforme de mantenimiento preventivo, que en esta Tesis se tratan todos y cada uno de estos temas.

2.2 JUSTIFICACION

Esta tesis va enfocada a conocer y diseñar los sistemas fotovoltaicos para aplicaciones residenciales, comunicaciones y sistemas de bombeo de agua en lugares donde no existe energía eléctrica convencional.

Servir como obra de consulta para una diversidad de personas interesadas en esta fuente alterna de energía eléctrica, desde principiantes hasta Ingeniero, el número de instalaciones de sistemas fotovoltaicas está aumentando rápidamente, y a medida que más personas conozcan esta opción de energía versátil y muchas veces más económica, se acelerará esta tendencia.

2.3 METODOLOGIA

Para la elaboración de esta tesis se tomo como experiencia las empresas del ramo las que constituyen la mejor fuente de información local porque poseen experiencia en el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos en el lugar, empleando componentes apropiados.

También de las instalaciones y proyectos realizados en varias partes del Mundo, estudiando los sistemas presentados como ejemplos, por que ilustran la forma en que se tomaron las decisiones de proyecto para aplicaciones específicas.

2.4 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Esta Tesis está destinado a suministrar asesoramiento técnico a los interesados y considero que abarca una gran gama de aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos que pocos libros hayan sido escritos, de tal manera que con esta información usted podrá diseñar un sistema fotovoltaico plenamente confiable y capaz de satisfacer sus necesidades de energía.

3. FUENTE DE ENERGIA ELECTRICA

3.1 SISTEMAS DE ENERGIA CONVENCIONAL

Durante varios años, la generación y conversión de la energía eléctrica ha ocupado un lugar secundario en la apreciación pública en comparación con las consecuciones más espectaculares de las válvulas electrónicas y los dispositivos a base de semiconductores. Los ingenieros eléctricos , los científicos. Los profesores y sus alumnos han considerado a la energía eléctrica un campo de estudio más bien estéril, falto en general de interés y de oportunidades. No obstante, diversos estudios nacionales e internacionales, que han calculado las reservas de combustible fósiles (carbón, gas y petróleo) que constituyen el 96 % de las fuentes de energía en E.E.U.U. el crecimiento de la población y el nivel de vida en constante aumento, permiten predecir que, en el caso más favorable, las reservas de combustibles bastante para 230 años aproximadamente, mientras que, cálculos más pesimistas los estiman en sólo 23 años. Ello aconseja la búsqueda de nuevas fuentes de energía así como el perfeccionamiento de métodos para la conversión de energía. El insaciable afán de exploración humana de las profundidades oceánicas y del espacio exterior han empezado a estimular la investigación de otros medos de conversión de energía (solar, bioquímica, y nuclear). Pero cualquiera que sea el método de generación de energía, parece que, puesto que la electricidad es la única forma de la energía que es relativamente fácil de utilizar, controlar y convertir a otras formas de energía, probablemente continuará siendo la principal forma de energía utilizada por el hombre. Por consiguiente, se desprende de ello que éste es un campo que debe continuar siendo investigado.

3.2 SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICOS

¿A QUE SE LE LLAMA SISTEMA FOTOVOLTAICO (FV)?

Fotovoltaico es el desarrollo de un semiconductor de estado sólido que convierte la luz solar directamente en electricidad.

Fabricado usualmente de silicio y una pizca de otros elementos, es principalmente utilizado en transistores, LED's y otros aparatos electrónicos.

¿CÓMO OPERA?

Una fuente fotovoltaica (generalmente llamada Celda Solar), consiste en obleas de materiales semiconductores con diferentes propiedades electrónicas. En una celda policristalina, típica de Solares, el volumen principal de material es silicón alterado (dopado) con una pequeña cantidad de boro, que le da una característica positiva a tipo-p.

Una delgada oblea en el frente de la celda es alterada con fósforo para darle una característica negativa o tipo-n. La interfase entre estas dos obleas contiene un campo eléctrico y es llamada Unión.

La luz se conforma de partículas llamadas fotones. Cuando la luz choca sobre la celda solar, cada uno de los fotones es absorbido en la región de unión liberando electrones de cristal de silicio. Si el fotón tiene suficiente energía, los electrones serán capaces de vencer el campo eléctrico de la unión y moverse a través del silicio hasta un circuito externo. Cuando fluyen a través de un circuito externo, pueden proporcionar energía para hacer un trabajo, (cargar baterías, mover motores, iluminación, lámparas, etc.).

El proceso fotovoltaico es completamente de estado sólido contenido en si mismo. No tiene partes móviles y sin materiales consumibles o emisores.

¿QUÉ SE PUEDE HACER CON UN EQUIPO FV?

Virtualmente cualquier necesidad de energía eléctrica puede satisfacer mediante un adecuado diseño del sistema de energía fotovoltaica. Esto incluye energía para iluminación, bombeo, radiocomunicación, electrificación doméstica, protección catódica, etc. La única limitación es el costo del equipo y ocasionalmente el tamaño del arreglo FV, aunque este raramente es un factor.

4. HISTORIA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La Historia de Energía Solar

El físico francés Edmond de Becquerel describió el efecto fotovoltaico primero en 1839, pero seguía siendo una avenida inexplorada para los próximos tres cuartos de un siglo. A las sólo 19, Becquerel encontró esos ciertos materiales producirían cantidades pequeñas de corriente eléctrica cuando fueron expuestos a la Luz. Heinrich Hertz estudió el efecto en los sólidos en el año de 1870, produciendo células Fotovoltaicas (PV) que convirtieron la luz a electricidad a una eficiencia del 1% al 2%. Se usaron las células de selenio como luz para medir los dispositivos en la fotografía.
El paso grande a la comercialización de PV era el desarrollo en los años cuarenta del proceso Czochralski procesa, mientras generando el muy puro silicón cristalino. En 1954 los Laboratorios de Bell usaron el proceso Czochralski para producir un 4% de célula de silicón cristalina eficaz.

La energía solar fue popular en los años de 1970 debida a la crisis para proveer petróleo, los Estados Unidos Americanos promovió un Interés intenso para encontrar alternativas, las cuales culminaron al final de los 1970'S. En ese tiempo, el petróleo era caro (40 Dlls. por barril) y el gobierno estaba sustentando la energía fotovoltaica directamente con un presupuesto R&D de 4,150 millones de Dólares e indirectamente con unas deducciones fiscales de 405 para instalaciones de sistemas solares residenciales de más de 10,000 dólares. Estos factores dieron como resultado una inversión y crecimiento sustancial en la industria fotovoltaica y un crecimiento dramático en la industria termosolar.

Para mediados de los 80's todos estos factores se habían invertido. El petróleo se abarató (10 dólares por barril) y el fondo R&D fue reducido por debajo del 70% y las deducciones fiscales residenciales fueron eliminadas. El número de sistemas se redujo dramáticamente y la industria bajó respectivamente, provocando que los fabricantes se salieran del mercado. Al mismo tiempo, sobre los 80's trajeron una renovada conciencia del impacto ambiental por la producción de energía. En particular, el accidente Chernobyl despertó la conciencia en los Europeos por la necesidad de generar electricidad mediante métodos más limpios y seguros. Todos estos factores se han combinado para crear un mercado Fotovoltaico en expansión.

Otros Poderes Solares

La generación de fuerza fotovoltaica comparte el nombre ' Energía Solar' con otras tecnologías que capturan la energía directamente del sol. Células de PV diferentes que usan la luz para producir electricidad mientras concentrándose en sistemas de energía solar generan electricidad con el calor. Los coleccionistas solares utilizan los espejos y lentes para concentrar la luz del sol y lo enfoca hacia un receptor al punto de origen del sistema. El receptor absorbe y convierte la luz del sol en el calor. El calor se transporta entonces a un generador de vapor o artefacto dónde es reconstruido en electricidad.

5. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE UN SISTEMA

5.1 FACTORES ECONOMICOS

Se debe usar un sistema fotovoltaico si se determina que resulta más económico que otras alternativas de energía. Enseguida describiremos algunos factores que influyen en el costo del sistema a largo plazo.

El precio de la energía producida por estos sistemas ha bajado considerablemente desde 1980. Sin embargo, el costo inicial del equipo fotovoltaico es todavía más alto que el costo de un motor generador. No obstante, hay muchas aplicaciones donde el bajo costo de operación y mantenimiento de la energía fotovoltaica compensa el bajo costo inicial del generador y hace que este tipo de energía sea la opción más económica a largo plazo. El número de sistemas fotovoltaicos independientes en uso aumenta cada año debido a sus muchas ventajas.

¿Por qué debo considerar un sistema fotovoltaico?
¿No es muy costoso?

Los siguientes aspectos deben ser considerados por los posibles usuarios de estos sistemas:

ACCESO AL LUGAR DE LA INSTALACION:

Un sistema fotovoltaico bien proyectado funcionará sin necesidad de atención y necesitará un mínimo mantenimiento periódico. Los ahorros en costos laborales y de viajes pueden ser importantes.

MODULARIDAD:

Un sistema fotovoltaicos se puede proyectar para una fácil ampliación. Si la demanda de enrgía aumentara en años futuros, se debe considerar la facilidad la facilidad y el costo de aumentar la capacidad del sistema.

SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE:

Los costos de transporte de combustible al lugar de la instalación pueden exceder en mucho el costo del propio combustible. En cambio, la energía solar se recibe completamente gratis.

ASPECTOS AMBIENTALES:

Los sistemas fotovoltaicos no producen contaminación ambiental ni generan desechos.

MANTENIMIENTO:

Cualquier sistema generador de energía necesita mantenimiento. La experiencia demuestra que el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es menor que el de la mayoría de las otras alternativas.

DURABILIDAD:

La mayoría de los actuales módulos fotovoltaicos están basados en una tecnología comprobada que ha sufrido muy poca variación en los últimos 10 años. Existen muchas razones para creer que los módulos fotovoltaicos producirán electricidad durante 25 años o más.

COSTO:

Para muchas aplicaciones, las ventajas de la energía fotovoltaica compensan el alto costo inicial de los sistemas que la producen. Para un número cada vez mayor de usuarios, la energía fotovoltaica es claramente la alternativa más económica.

El costo del ciclo de vida útil demuestra que un sistema fotovoltaico es una buena alternativa para satisfacer mis requisitos.

Los proyectistas de estos sistemas saben que cada decisión tomada durante el diseño de un sistema fotovoltaico influye en el costo. Si la capacidad del sistema es demasiado alta, debido a que el diseño se ha basado en requisitos poco realistas, el costo inicial aumenta innecesariamente. Si se especifican partes o componentes poco durables, aumentarán los costos de mantenimiento y sus refacciones. Los estimados del costo del ciclo de vida del sistema, que tienen en cuenta cada uno de los factores de costos, pueden aumentar al doble fácilmente si se hacen selecciones inapropiadas durante el diseño del sistema. Hay casos en que no se llegaron a instalar sistemas fotovoltaicos debido a que se usaron especificaciones muy estrictas o se tomaron decisiones incorrectas, lo que dio como resultado estimados de costos excesivamente elevados. Sea realista y flexible al determinar la capacidad de su sistema fotovoltaico.

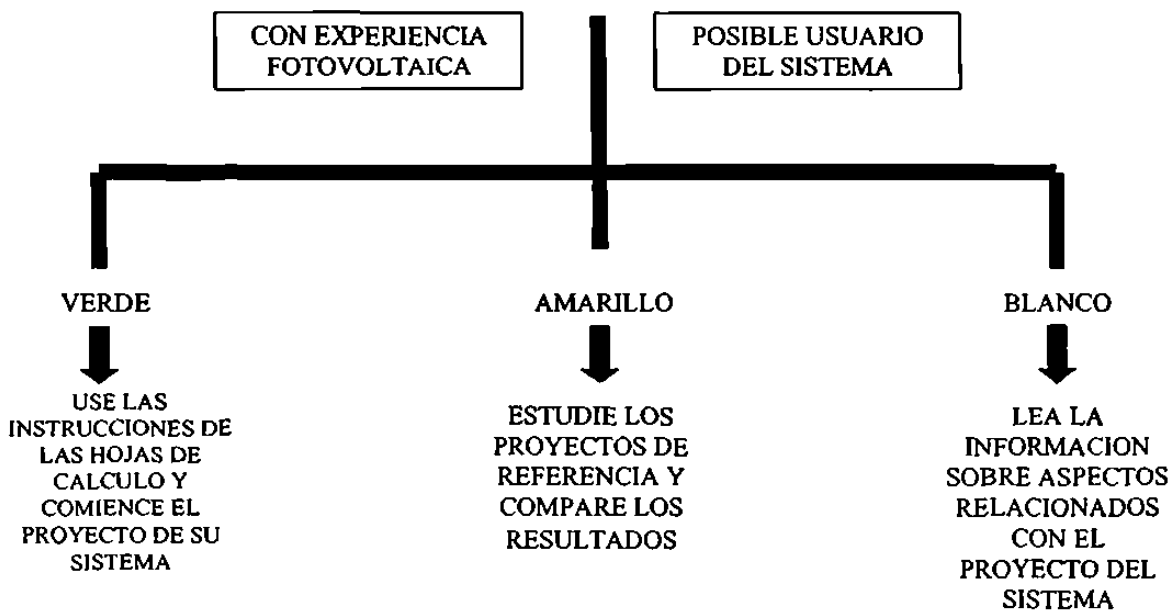
5.2 PROCEDIMIENTOS PARA EL PROYECTO

Después de estudiar todas las posibilidades de suministro de energía, usted ha decido considerar un sistema fotovoltaico ¿Cómo proceder?. Esta tesis esta preparada para asesorarlo en la determinación inicial de la capacidad de un sistema fotovoltaico.

Debemos hacer los siguientes cálculos:

- Cálculo de cargas para artefactos eléctricos
- Determinación de corriente y ángulo de inclinación del arreglo fotovoltaico
- Cálculo de capacidad de la batería del sistema
- Cálculo de capacidad del arreglo fotovoltaico
- Determinación de si se debe usar un sistema híbrido.

A continuación mostraremos un esquema para toma de decisiones, si usted conoce la terminología del ramo, podría decidir comenzar inmediatamente el diseño del sistema.



Sin embargo, con los ejemplos mencionados en esta tesis podría verificar su trabajo de aplicación similares y también cuanta con las hojas de cálculo necesario para sus diseños.

5.3 EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta cambia de opinión sobre la forma de usar un sistema fotovoltaico. A ellos no les gustaba el generador que usaban, pero no tenía objeto cambiarlo completamente por un sistema fotovoltaico. Ellos deseaban generar electricidad silenciosamente para su casa y obtener una gran reducción en el costo de combustibles y mantenimiento, pero todavía tendrían que usar el generador unas cuantas horas a la semana para lavar la ropa o llenar el tanque de agua. De esta forma, prodrían diseñar un sistema fotovoltaico que suministrara los requisitos medios diarios de la carga, usando el generador sólo cuando fuera necesario. El tener el generador disponible les hizo reevaluar sus ideas sobre tener energía fotovoltaica disponible en toda clase de clima; es decir, un sistema fotovoltaico con un 100% de disponibilidad.

En la industria fotovoltaica el término "disponibilidad" tiene un significado especial, porque constituye un factor que no sólo depende del uso de un equipo de funcionamiento confiable sino también de la constancia o regularidad de la luz solar y del tamaño del subsistema de batería de almacenaje. Debido a la incertidumbre de las condiciones del tiempo, resultaría innecesariamente costoso el diseño de un sistema fotovoltaico que deba estar disponible todo el tiempo y en todas las condiciones meteorológicas.

La familia Acosta determinó que los sistemas fotovoltaicos, con disponibilidades a largo plazo mayores de 95%, son factibles y se pueden diseñar por menos de la mitad del costo de sistemas diseñados para una disponibilidad de 99.99%. Los Acosta decidieron adaptar su estilo de vida a las condiciones del tiempo, de manera que durante los períodos de nebulosida pudieran reducir la carga eléctrica que no fuera esencial sin crear grandes inconvenientes. Conservarían energía apagando las luces y los aparatos eléctricos cuando no estuvieran en uso y harían trabajos domésticos tales como limpiar los pisos con aspiradora sólo en días soleados. Esto reduciría el tamaño del sistema de

batería y del arreglo fotovoltaico y les ahorraría mucho dinero. En caso de emergencia, siempre podrían usar el generador para recargar las baterías.

La familia Acosta decidió proyectar e instalar un sistema seguro con una vida útil de 25 años o más. Comprendían que la buena calidad siempre cuesta más inicialmente, pero les ahorraría de alta calidad, decidieron reducir el costo inicial proyectando un sistema con una disponibilidad de 95%. El plan de tener un estilo de vida consiente del uso de la energía les hizo sentirse bien porque estaban contribuyendo a conservar energía.

5.4 CALCULO DE LA CARGA

5.4.1 ESTIMACION

Su primera tarea como proyectista de cualquier sistema fotovoltaico, es estimar la carga de los artefactos eléctricos conectada al sistema. Esta estimación es la base del diseño y del presupuesto de un sistema fotovoltaico independiente.

Aprovechando la hoja de cálculo No. 1, que se ilustra parcialmente en esta página, calcule las cargas diarias promedias y el resultado será la suma de las cargas estimadas, tanto para todos los aparatos eléctricos de corriente alterna, (c.a.) como para los de corriente continua (c.c.). Si la demanda de la carga cambia en forma apreciable con el tiempo, debe llenar una hoja de cálculos # 1 para cada mes o estación del año. En el Apéndice B se suministran copias de todas las distintas hojas de cálculo. Los siguientes pasos le indicarán cómo proceder:

- Indique cada carga y el número de horas de uso cada día. Anote la corriente en amperes y la tensión de funcionamiento para cada carga y calcule la demanda de potencia.* Haga una lista de las cargas de corriente continúa en la parte superior de la hoja de cálculo y de las de corriente alterna si existen, en la parte inferior. Debe emplear una unidad acondicionadora de potencia para todas las cargas de corriente alterna. Esta unidad también conocida como inversor, agregar

complejidad a un sistema y causa una pérdida de potencia debido a la necesidad de conversión de potencia de corriente continua a potencia de corriente alterna. Si sólo una pequeña cantidad de cargas necesitan corriente alterna, es posible modificar los equipos específicos para que funcionen con corriente continua.

HOJA DE CALCULO # 1

CALCULO DE CARGAS

DISCRIPCION DE LA CARGA	CANTIDAD	CORRIENTE DE LA CARGA (A)	TENSION DE LA CARGA (V)	POTENCIA DE LA CARGA DE C.C (W)		POTENCIA DE LA CARGA DE C.A (W)
TRANSMISION C.C	1	X 12	X 12	* 252		N/A
RECEPCION C.C	1	X 2	X 12	* 252		N/A
RESERVA C.C	1	X 0.42	X 12	* 252		N/A

Estime la carga eléctrica en forma precisa

* EL FACTOR DE POTENCIA NO SE CONSIDERA EN EL CALCULO DE LA POTENCIA DE C.A.

- Agrupe las cargas por tipo y tensión de funcionamiento y calcule la demanda total de potencia para cada grupo. La tensión recomendada del sistema fotovoltaico independiente la determinará basándose en esta información.

- Después de seleccionar la tensión del sistema, calcule el total de amperio-horas diarios requeridos con esa tensión.

En teoría determinar la carga resulta clara y directa: sólo se necesita calcular el consumo de energía de todos los aparatos y artefactos eléctricos que se incluirán en el sistema fotovoltaico. En la práctica, sin embargo, la demanda de energía resulta incierta porque muchas veces se desconoce el período de tiempo en que funcionará cada artefacto o aparato eléctrico especifico. Un buen ejemplo es un sistema residencial. La energía que necesita un aparato se puede medir u obtener de los folletos de fabricas. (Vea los episodios de la familia Acosta). Sin embargo, es necesario calcular el tiempo de uso diario, semanal o mensual que tendrá el aparato. Recuerde que en los sistemas residenciales (y en muchos otros) las horas de uso no las puede controlar el propietario u operador del sistema no exagere el uso. Resista la tentación de agregar un 10, 20 o 50% al cálculo del tiempo de uso de cada aparato. El resultado acumulativo tendrá el efecto de elevar excesivamente la capacidad y el costo del sistema.

Como proyectista, debe considerar subtituciones que conserven energía para los aparatos y artefactos que se usen frecuentemente. Identifique las demandas mayores o variables de carga y determine si se pueden eliminar o cambiar. Considere el reemplazo de lámparas incandescentes con lámparas fluorescentes, que producen el mismo nivel luminoso con mucho menos consumo tomé en cuenta también el uso de aparatos de corriente continua para evitar las pérdidas en el proceso de conversión a corriente alterna. Las lámparas y aparatos de corriente continua generalmente cuestan más pero son más eficientes y durables. La selección de modelos y estilos es más amplia en los artefactos de corriente alterna, pero la eficiencia es usualmente más baja porque estos aparatos han sido diseñado para uso en la corriente de las compañías de electricidad con capacidad casi "infinita".

Considere lo siguiente:

ESTUFAS ELECTRICAS: No es practico alimentarlas con energía fotovoltaica; use alternativas como estufas de gas propano.

REFRIGERADORES: Los modelos antiguos de corriente alterna resultan ineficientes y pueden hacer funcionar el compresor del 60 al 80 % del tiempo. Se puede obtener modelos eficientes de corriente continua pero cuesta más que los similares de corriente alterna.

LAVADORAS DE ROPA: algunos inversores* de corriente continua a corriente alterna pueden tener problemas en el arranque del potente motor de una lavadora. Una alternativa seria emplear una lavadora de rodillo estrujador.

SECADORAS DE ROPA: Considere que el uso de una secadora a gas o, mejor aun bastidor para secar las ropas al aire libre.

LAVAPLATOS: No existen máquinas de corriente continua. Representan una gran demanda de potencia, especialmente en el ciclo de secado. Considere lavar los platos a mano.

HORNOS DE MICROONDAS: Constituyen una carga grande pero el tiempo de funcionamiento es usualmente corto. Existen muy pocos modelos de corriente continua. Algunos inversores de corriente no pueden ser capaces de hacer funcionar un horno de microondas o pueden causar un mal funcionamiento del medidor del tiempo de estos artefactos.

BOMBAS DE AGUA: La energía fotovoltaica se usa en muchas aplicaciones pequeñas bombeo de agua. Este tipo de energía tal vez no sea la mejor opción para bombear grandes cantidades de agua para el riesgo de cosechas.

5.4.2. SELECCIÓN DEL VOLTAJE

La tensión de funcionamiento seleccionada para un sistema fotovoltaico independiente depende de los requisitos de tensión y de la corriente total. Si las demandas de potencia mas elevadas son para artefactos de c.c., debe elegirse el valor de la tensión de la carga mayor, pero mantenerse la corriente por debajo de 20 A en cualquier circuito de fuente y 100 A en cualquier sección del sistema.

Mantener la corriente debajo de estos niveles recomendados permitirá el uso de componentes y cables eléctricos de tipo estándar y fáciles de obtener. Cuando las cargas necesitan potencia de c.a.., determine la tensión del sistema de c.c. después de estudiar las características de los inversores disponibles. En seguida debe considerar el posible aumento del tamaño de su sistema en el futuro. Este es el momento oportuno de escoger una tensión adecuada para un sistema de mas capacidad en el futuro.

He aquí algunas reglas de orden general:

- Las cargas de c.c. funcionan generalmente a 12 V o a una tensión múltiple de 12, por ejemplo, 24, 36 o 48 V. Para sistemas de c.c., la tensión debe ser la requerida por las cargas mayores. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos de c.c. con menos de 1 kW de capacidad funcionan a 12 V c.c. (La corriente total es 1,000+12–83.3 A–.

- Si se deben alimentar cargas con diferentes tensiones de c.c., seleccione como tensión del sistema, la de la carga con mayor demanda de corriente. Puede usar conversores electrónicos de c.c. a c.c. para alimentar cargas a tensiones diferentes de la del sistema. Si se necesita una tensión más baja, a veces es posible conectar la carga solamente a una porción de un grupo de baterías conectadas en serie. Sin embargo, esto puede causar problemas en la recarga de las baterias y no se debe hacer si la corriente requerida a la tensión mas baja tomada de la serie de baterías. Debe usar entonces, un compensador de carga de baterías.

- En los sistemas fotovoltaicos independientes casi todas las cargas de c.a. funcionarán a 120 V c.a. Estudie las especificaciones de un inversor que pueda proporcionar la potencia total e instantánea de c.a. requerida. Seleccione un invasor que pueda satisfacer todas las cargas y mantener la corriente de c.c. debajo de 100 A. Si no se toma en cuenta el factor de potencia y las pérdidas, las siguientes ecuaciones deben balancearse:

Potencia c.a. = (Tensión c.a.) (Corriente c.a.)
Potencia c.c. = (Tensión c.c.) (Corriente c.c.)

Por ejemplo, si la carga de c.a. es de 2,400 W y la tensión de c.a. es de 120 V, la corriente de c.a. será de 20 A. Si se excluyen las pérdidas del inversor, la potencia de c.c. sería la misma: 2,400 W. Si selecciona un inversor de 12 V c.c., la corriente de c.c. sería 200 A, lo que no se recomienda. Use un inversor de 24 ó 48 v para obtener una corriente de entrada de 100 ó 50 A, respectivamente. Recuerde que el costo del cable e

interruptores sube a medida que aumenta la cantidad de corriente. En la Tabla 1 se presenta una regla general para seleccionar la tensión del sistema basada en la demanda de potencia de c.a.

Tabla 1.

Demanda de energía de c.a. (watts)	Tensión de entrada al inversor (volts c.c.)
< 1,500	12
1,500-5,000	24 ó 48
> 5,000	48 ó 120

La selección de un inversor es importante e influye tanto en el costo como en el rendimiento del sistema. Generalmente, el rendimiento y la capacidad de los inversores es mejor en los modelos que funcionan a tensiones más altas. Por ejemplo, una unidad de 48 V es usualmente más eficiente que una de 12 V. El proyectistas debe obtener información de varios fabricantes acerca de inversores específicos, incluyendo la capacidad y facilidad de adquisición, antes de decidir el valor de tensión del sistema. Recuerde que a medida que aumenta la tensión, también aumenta las unidades básicas del arreglo y de los subsistemas de almacenaje.

Tome como ejemplo un sistema de 48 V que tiene cuatro módulos conectados en serie para formar una unidad básica. Los ajustes de valores en el diseño, como por ejemplo, un ligero aumento de la corriente del sistema, requieren la compra de cuatro módulos adicionales. Sin embargo, la ventaja de una tensión de funcionamiento más alta es que requiere una corriente más baja para producir la misma potencia. Para una corriente alta se necesitan cables de mayor calibre y fusibles, interruptores y conectores de más capacidad que son más costosos y difíciles de conseguir. Un conocimiento previo del costo y de la facilidad de adquisición de los componentes e interruptores es de vital importancia para un buen diseño.

- La selección de la tensión del sistema es una decisión de gran importancia para el proyecto.
- Al limitar la corriente a un valor menor de 100 amperes, se reduce el costo de los interruptores y conductores.
- La tensión de entrada del inversor determina la tensión de corriente continua del sistema.

5.4.3. EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta utilizaron la hoja de cálculo #1 para hacer el cálculo final de la carga. Deseaban la conveniencia de los artefactos de corriente alterna pero decidieron usar luces o lámparas de corriente continua y algunos artefactos pequeños para conservar energía. También decidieron no usar una lavadora de platos y piensan colgar la ropa afuera para secarla. Cuando sumaron nuevamente todas las cargas, vieron que habían reducido sus demandas eléctricas a:

1,800 W / 120 V = 75 A c.c..
240 W / 24 V = 10 A c.c.
24 W / 12 V = 2 A c.c.

Comprarían un inversor de 2,500 W, capaz de funcionar a 24 V.

El radioteléfono de 12 V sería alimentado del centro del banco de baterías de 24 V, ya que la corriente requerida a 12 V es menos del 2 % de la corriente total del sistema. Calcularon las corrientes como se muestra a la izquierda. Teniendo en cuenta las pérdidas, determinaron que las baterías nunca tendría que suministrar más de 100 A. Sabían que es posible obtener fácilmente interruptores, cables y fusibles capaces de funcionar con esta corriente. Ahora deben determinar el nivel del recurso solar en el sitio de su casa y el tamaño del sistema de batería de almacenaje que necesitarán.

5.5 EL RECURSO SOLAR

5.5.1 MES DETERMINANTE PARA EL DISEÑO

Con el uso de la hoja de cálculo # 2 obtendremos el ángulo de inclinación recomendado y el valor de insolación para el mes de diseño, o sea la demanda máxima de potencia que es el peor caso que se puede presentar en la combinación de insolación y de demanda de carga de aparatos eléctricos.

El proyectista se podría realizar las siguientes preguntas :

- ¿Qué datos de insolación se necesitan?
- ¿Cómo cambian los datos el ángulo de inclinación del arreglo fotovoltaico?
- ¿Qué grado de exactitud debe tener mi cálculo estimado?
- ¿Puede seguir el curso del sol el arreglo fotovoltaico?

Con este criterio, podrá diseñar el sistema fotovoltaico independiente para satisfacer dicha carga y mantener la batería completamente cargada en el pero mes de un año promedio. Así se garantizará un resultado moderado.

Los datos solares imprecisos pueden causar errores de diseño. ¿Cómo puede obtener datos solares precisos que reflejen la radiación a largo plazo disponible en el sitio de instalación de su sistema? Estos datos, particularmente para paneles inclinados o de seguimiento, no se pueden obtener fácilmente. Sin embargo, las universidades y/o agencias gubernamentales en muchos países recolectan estos datos constantemente.

Consulte fuentes locales, tales como universidades o aeropuertos y si no puede conseguir los datos obtenidos de mediciones para paneles inclinados, puede usar los datos del Apéndice A. Estos datos han sido formulados con el fin de proporcionar un valor promedio sobre un amplia área. Su sitio podrá recibir mayor o menor radiación solar que la indicada. Usted podrá, entonces, aumentar o disminuir los valores de los

datos solares en un factor de 10 ó 15% ara ver lo que significarían en el diseño de su sistema.

En seguida mostraremos la hoja de cálculo # 2 parcialmente:

HOJA DE CALCULO # 2 DETERMINACION DE CORRIENTE Y ANGULO							
21 UBICACIÓN DEL SISTEMA			CERCA DE CHIHUAHUA, MEXICO			LATITUD	
UBICACIÓN DE LA INSTALACION			CERCA DE CHIHUAHUA, MEXICO			LATITUD	
INCLINACIÓN A LATITUD - 15 °					INCLINACION A LATITUD		
M E S	22 A CARGA CORREGIDA (AH/DIA) 20 0 25 P	23 A SOL MAXIMO (H/DIA)	24 A CORRIENTE DEL PROYECTO (A)		22 A CARGA CORREGIDA (AH/DIA) 20 0 25 P	23 A SOL MAXIMO (H/DIA)	24 A CORRIENTE DEL PROYECTO (A)
E	600	÷ 5 05	= 118.8		600	÷ 5 83	=
F	590	÷ 5.83	= 101.2		590	÷ 6 42	=
M	560	÷ 6 58	= 85 1		560	÷ 6 81	=

La hoja de cálculo # 2 tiene espacios para anotar la corriente de carga de los aparatos eléctricos y los datos de insolación solar para cada mes del año, considerando tres ángulos diferentes de inclinación. En la mayoría de las aplicaciones, es posible identificar el mes de demanda máxima de potencia sin tener que hacer cálculos para los 12 meses. Por ejemplo, si la demanda de carga es constante durante todo el año, el mes de potencia máxima será el de menor insolación. El arreglo, por tanto, se deberá instalar con un ángulo de inclinación que produzca el mayor valor de insolación solar durante ese mes con la mayor relación de carga a insolación solar.

Para determinar el mes de potencia, se toma en cuenta el ángulo de inclinación recomendado para el arreglo fotovoltaico, o sea, el ángulo que obtenga la mayor insolación solar para ese mes. El apéndice "A" contiene datos solares para ciertas ciudades en América Latina. Se incluyen datos para paneles de superficies fijas y de seguimiento del sol en un eje o dirección, con tres ángulos de inclinación (latitud y latitud +/-15 grados). Se incluyen también datos de seguimiento del sol en dos ejes o direcciones, al igual que un juego de mapas del mundo que indican valores de insolación para los tres ángulos de inclinación en cada una de las estaciones del año. Todos los

datos se expresan en unidades de kilowatts-hora por día, para el período en que la intensidad del sol equivale a un kilowatt por metro cuadrado.

Si usted tiene la opción de usar un arreglo fotovoltaico seguidor de la luz solar, debe llenar la hoja de cálculos No. 2 con los datos de seguimiento. No se deben de mezclar los datos de seguimiento y de inclinación fija en la misma hoja de cálculo. La determinación de la capacidad del sistema fotovoltaico, usando los datos mencionados, permitirá hacer una comparación económica entre las dos tecnologías. Los conjuntos de un solo eje, que siguen el sol de este a oeste, se usan generalmente en pequeños sistemas fotovoltaicos independientes. No se recomiendan conjuntos seguidores de dos ejes debido a su mayor complejidad.

Las condiciones solares pueden variar en forma importante dentro de una corta distancia, particularmente en las montañas.

El Apéndice A contiene los datos de insolación mensuales para conjuntos fotovoltaicos de inclinación fija y de seguimiento

5.5.2. SELECCIÓN DE DATOS

Usted debe estimar la disponibilidad y la cantidad de luz del sol, porque es poco probable que existan registros de datos meteorológicos que cubran un período de varios años para su sitio específico. Sin embargo, se han mantenido registros por muchos años para algunos sitios. Esta información proporcionará valores promedios que son suficientes para diseñar sistemas fotovoltaicos independientes. A pesar de que las condiciones solares locales pueden variar en forma considerable de lugar a lugar, particularmente en áreas montañosas, usted puede determinar el clima local si estudia la variación de los datos de diversas ciudades ubicadas alrededor del sitio propuesto. No se desvíe de los datos registrados en más de un 20 % , a menos que éste seguro de que la irradiancia en su sitio es considerablemente diferente. Recuerde que el cálculo estimado

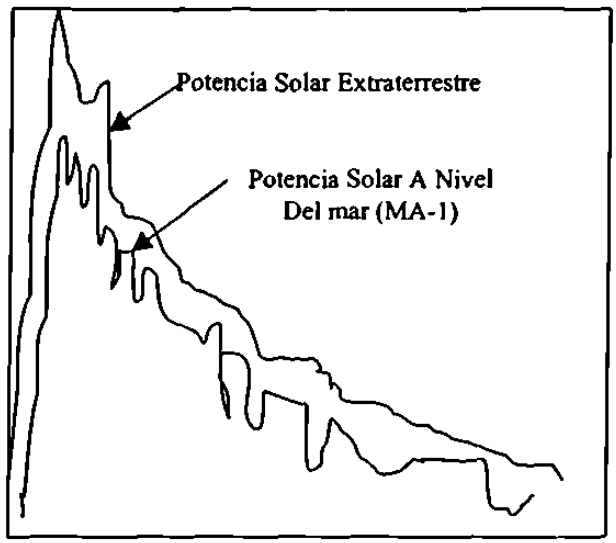
del recurso solar influye directamente en el costo y el rendimiento del sistema fotovoltaico independiente. Usted podría usar un cálculo estimado del "mejor caso" y uno del "peor caso" de radiación.

5.5.3. DESCRIPCIÓN

La irradiancia solar es la cantidad de potencia solar que llega a un área determinada. Constituyendo una medida de la intensidad de la luz del sol y se expresa en unidades de watts (W) o kilowatts (kW) por metro cuadrado. La insolación es la cantidad de energía solar que recibe un área determinada. Se expresa en Kilowatts por metro cuadrado (Equivalente a horas de sol máximo). También se usan mediciones de insolación en BTU (unidad térmica británica) por pie cuadrado (BTU/pie2), Lagleys (L), o megajoules por metro cuadrado (MJ/m2). Los factores de conversión son:

$$\mathbf{KWh / m^2 = Langley / 86.04 = 317.2\ Btu/ pie^2 = 3.6\ MJ / m^2}$$

La atmósfera terrestre más alta recibe un nivel casi constante de potencia solar radiante (la constante solar) equivalente a 1.36 kilowatts por metro cuadrado. Este es el calor que obtiene al integrar el área en la parte inferior del gráfico de la figura No. 1 . Ahí se muestra el espectro de radiación extraterrestre junto al espectro de radiación conocido como "masa de aire 1" (MA-1). Es evidente que la atmósfera tiene una gran capacidad de absorción y reduce la energía solar que llega a la tierra, particularmente en cierta longitudes de onda. La parte del espectro de interés para nosotros es de 0.3 a 0.6 micrómetros. Estas son las longitudes de onda de la luz a uqe responden la mayoría de las celdas fotovoltaicas de silicio. In embargo, en un día soleado, la irradiancia total que llega a la tierra es de aproximadamente 1,000 W/m



ESPECTRO DE RADIACION

Figura No. 1

Los datos de insolación se presentan frecuentemente como valores de promedio diario para cada mes. Por supuesto, en un día cualquiera la radiación solar varía continuamente desde la salida hasta la puesta del sol tal como lo indica la Figura No. 2. La irradancia máxima se indica para el mediodía solar, que se define como el punto medio, en tiempo, entre la salida y la puesta del sol de cualquier día dado, no importa cual sea la estación.

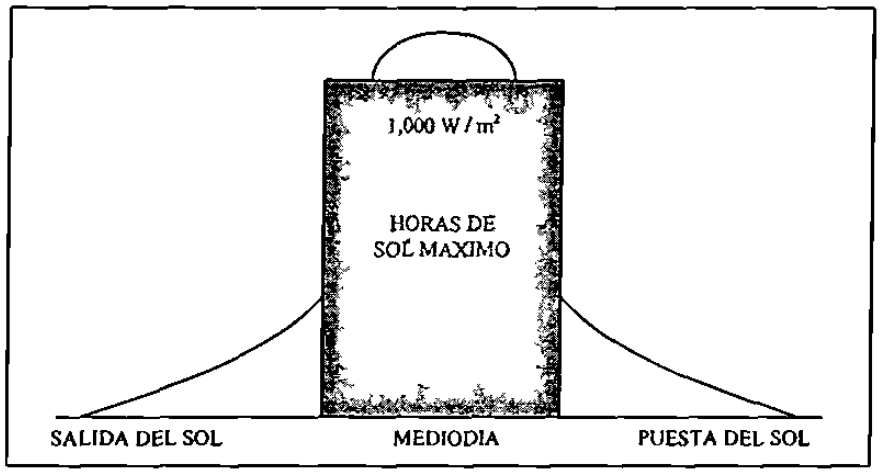
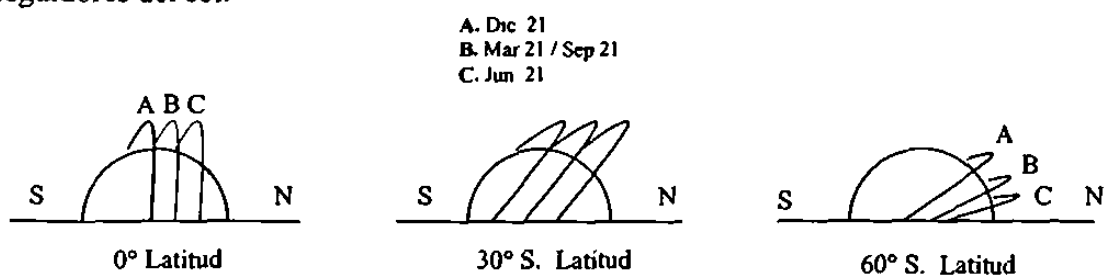


Figura No. 2

El término "horas de sol máximo" se define como el número equivalente de horas diarias en que la irradiancia solar alcanza un promedio de 1,000 W / m^2. Seis horas de sol máximo significa que la energía recibida durante el número total de horas con sol en el día es igual a la energía recibida si el sol hubiera brillado durante seis horas a 1,000 W / m^2. Por lo tanto, las horas de sol máximo corresponde directamente al promedio diario de insolación y las tablas incluídas en el Apéndice A se pueden leer de cualquiera de las dos maneras.

En algunas áreas de la América del Sur, la irradiancia solar a nivel del suelo normalmente excede el valor de 1,000 W / m^2. En algunas regiones montañosas se han registrado en forma rutinaria lecturas de hasta 1,200 W / m^2. Los valores promedio son menores para la mayoría de las otras regiones, pero se pueden recibir valores instantáneos máximo de hasta 1,500 W / m^2. durante los días en que haya nubes blancas capaces de enfocar la luz solar. Estos niveles tan altos raramente duran más de unos segundos.

La insolación varía según las estaciones debido al cambio de posición de la tierra con respecto al sol. Los ángulos del sol se pueden calcular para cualquier sitio y fecha específica. La figura 3 muestra la trayectoria diaria del sol para tres latitudes: 0°, 32° S y 64° S para los solsticios de verano e invierno y los equinoccios. Estos datos representan la trayectoria del sol para cuatro días del año. El cambio en el ángulo del sol, tanto diario como anual, es la razón por la que algunos sistemas usan conjuntos seguidores del sol.



TRAYECTORIA ESTACIONAL DEL SOL

Figura No. 3

La potencia de salida de un arreglo fotovoltaico se puede aumentar al máximo si el arreglo se mantiene apuntando al sol todo el tiempo. El sistema de seguimiento del sol en un eje aumentará la producción de energía en algunos sitios hasta 50 % durante algunos meses y hasta 30 % durante el curso del año. El mayor beneficio se obtiene temprano en la mañana y al atardecer cuando el arreglo de seguimiento apuntará más hacia el sol que un arreglo fijo. Generalmente, el seguimiento del sol es más beneficioso en los sitios ubicados dentro de una latitud de ± 30°. El beneficio es menor en latitudes más altas porque el sol está muy bajo en el horizonte durante los meses de invierno.

Para los conjuntos fijos o de seguimiento, la producción anual de energía es máxima cuando el arreglo se inclina a un ángulo igual a la latitud; por ejemplo, en la latitud 40° N, el arreglo se debe inclinar a 40° de la horizontal. Si la carga durante el invierno es la más crítica, el ángulo de inclinación del arreglo debe ser ugual al ángulo de la latitud más 15°. Para aumentar al máximo la producción durante el verano, el ángulo de inclinación del arreglo debe ser igual a la latitud menos 15° .

5.5.4. MEDICIONES

Los componentes directos y difusos de la luz del sol se miden con un instrumento llamado piranómetro. Estos valores se deben integrar sobre el tiempo de insolación. Algunos de los piranómetros más precisos han sido calibrados cuidadosamente y son más costosos. Los modelos más económicos usan una sección calibrada de una célula fotovoltaica para medir la irradiancia disponible. Esta se recomienda para los propietarios de sistemas fotovoltaicos pequeños que deseen observar el rendimiento del sistema. Es posible que usted encuentre registros de insolación solar para un sitio cerca de su sistema. Sin embargo, probablemente los datos habrán sido obtenidos con un piranómetro montado sobre una superficie horizontal. Si conoce el componente directo de la radiación solar, que es la radiación proveniente del disco solar, puede calcular la radiación que llega hasta una superficie inclincada. Si no encuentra datos de una fuente local, use los del Apéndice A.

5.5.5. EJEMPLO ESPECIFICO

La hacienda de la familia Acosta está ubicada al noreste de Durango, México, a una elevación de 1,500 metros. El lugar queda en un valle protegido por montañas hacia el este y el oeste. Los Pérez sabían que las montañas limitarían el sol de la mañana y de las horas avanzadas de la tarde y decidieron que un arreglo seguidor no sería de mucho beneficio para su sistema fotovoltaico. Deseaban aumentar al máximo la radiación recibida durante el invierno y decidieron instalar el arreglo a un ángulo fijo equivalente a su latitud más 15° , con el arreglo dirigido hacia el sur.

Los Pérez buscaron registros meteorológicos locales pero no pudieron encontrar ninguna medición de la radiación solar en su área, por lo cual usaron los datos de Chihuahua. Calcularon el promedio de estos valores para cada mes con el fin de obtener un promedio diario para su sitio y determinaron que el mes de potencia máxima sería Enero y que el promedio de insolación sería de 4.5 kilowatt horas / m^2. La familia Acosta decidieron hacer tres proyectos utilizando diferentes cálculos para la insolación del mes de potencia máxima, usando promedios de 4.5 kWh / m^2, 5 kWh / m^2 y 4 kWh / m^2. Estos valores limitarían el alcance del diseño y proveería versiones del "peor caso" y del "mejor caso". Al utilizar el valor promedio de 4.5 kWh / m^2, la corriente de diseño del sistema es 94 A. Esperan que su sistema provea una disponibilidad del 95% durante un inveierno típico.

HOJA DE CALCULO No. 2

HOJA DE CALCULOS # 2.	DETERMINACION DE CORRIENTE Y ANGULO DE INCLINACION DEL ARREGLO					
21	Ubicación del sistema	Cerca de Chihuahua, México	Latitud		Longitud	
Ubicación de la insolación		Chihuahua, México	Latitud		Longitud	

	Inclinación a latitud – 15°			Inclinación a latitud			Inclinación a latitud + 15°		
MES	22 A Carga corregida (AH/DIA) 20 o 25 P	23 A Sol máximo (H/DIA)	24 A Corriente del proyecto (A)	22 A Carga corregida (AH/DIA) 20 o 25 P	23 A Sol máximo (H/DIA)	24 A Corriente del proyecto (A)	22 A Carga corregida (AH/DIA) 20 o 25 P	23 A Sol máximo (H/DIA)	24 A Corriente del proyecto (A)
E	600	+ 5 05	= 118 8	600	+ 5 83	= 102 9	600	+ 6 29	95 4
F	590	+ 5 83	= 101.2	590	+ 6 43	= 91 9	590	+ 6 65	88 7
M	560	+ 6 58	= 85 1	560	+ 6 81	= 82.2	560	+ 6 68	83 8
A	540	+ 7 08	= 76 3	540	+ 6 9	= 78.3	540	+ 6 38	84 6
M	600	+ 5 05	=118.8	600	+ 5 83	= 102 9	600	+ 6 29	95 4
J	450	+ 7 04	= 63 9	450	+ 6 44	= 69 9	450	+ 5 58	80 6
J	400	+ 6 97	= 57 4	400	+ 6 43	= 62.2	400	+ 5 63	71 0
A	400	+ 9 79	= 58 9	400	+ 6 5	61 5	400	+ 5 9	= 67 8
S	450	+ 6 71	= 67 1	450	+ 6 78	= 66 4	450	+ 6 5	69 2
O	490	+ 6 32	= 77.5	490	+ 6 82	= 71 8	490	+ 6 96	70 4
N	560	+ 5 23	= 107 1	560	+ 5 97	= 93 8	560	+ 6 37	– 87 9
D	600	+ 4 51	= 133 0	600	+ 5 27	= 113 9	600	+ 5 74	= 104 5

Elija de cada latitud la corriente máxima del proyecto y el sol máximo correspondiente e ingrese los valores abajo

Latitud - 15°	
25 A Sol Máximo (H/DIA)	26 A Corriente Del proyecto (A)
4.51	133.0

Latitud	
25 B Sol Máximo (H/DIA)	26 B Corriente Del proyecto (A)
5.27	113.9

Latitud + 15°	
25 C Sol Máximo (H/DIA)	26 C Corriente Del proyecto (A)
5.74	104.5

Ahora elija la corriente mínima del proyecto y el sol máximo correspondiente

NOTA: NO MEZCLE LOS DATOS DE ESTE ARREGLO CON LOS DATOS DE ARREGLO FIJO EN LA MISMA HOJA.

Latitud + 15°	
25 C Sol Máximo (H/DIA)	26 C Corriente Del proyecto (A)
5.74	104.5

5.6. BATERIAS

¿Cuántos días de almacenaje de batería necesito?

¿Qué disponibilidad del sistema será necesaria?

¿Cómo se puede garantizar la seguridad de una instalación de baterías?

5.6.1. CAPACIDAD

La hoja de cálculo No. 3 que se mostrara parcialmente más adelante, se ha preparado para facilitar la determinación de la capacidad de almacenaje de batería que se necesita en un sistema fotovoltaico independiente. Usted debe tomar diversas decisiones, pero antes de tomarlas debe estudiar y entender los parámetros de batería y el concepto de disponibilidad del sistema.

HOJA DE CALCULO No 3

CALCULO DE CAPACIDAD DE

29 Carga corregida en amp-horas (AH/DIA) 20	30 D Días de Almace-namiento (DIA)	31 D Factor de profundidad máxima de descarga (DECIMAL)	32 D Factores de corrección de temperatura (DECMAL)
153.6	X 10	÷ 0.8	÷ 0.7

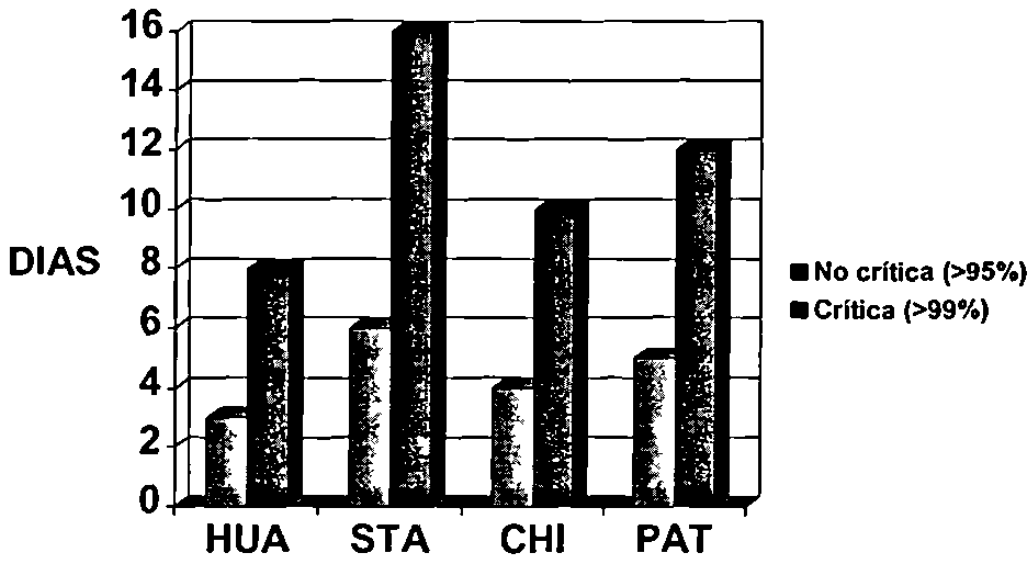
NOTA CASILLA 35 EN CASO DE DISEÑO CRITICO DEL SISTEMA . REDONDEE

36 Tensión nominal del sistema (V) 9	37 Tensión nominal de la batería (V)
12	÷ 6

INFORMACIÓN DE BATERIA	
Tipo/ descripción	

Primero, decida el número de días de almacenaje de energía para el sistema que desea. Este valor está relacionado con el grado de disponibilidad del sistema. El gráfico de la Figura 4 indica una recomendación para la relación entre el número de días de

almacenaje y el promedio de horas diarias de máxima radiación solar para dos disponibilidades del sistema. Estos cálculos estimados están basados en la experiencia y son valores medios. Usted podría usar un número mayor o menor de días de almacenaje basándose en sus conocimientos de la aplicación. Usted debe obtener información sobre las baterías disponibles en su país. Cuando se especifican y compran baterías, muchos factores pueden ser más importantes que la decisión puramente técnica.



HUA = Huancayo, Perú
CHI – Chihuahua, México
STA = Stanley, Islas Malvinas
PAT = Patagones, Argentina

DIAS DE ALMACENAMIENTO PARA CINCO CIUDADES.

Figura No. 4

Por ejemplo, si usted puede obtener baterías localmente, el ahorro en el costo de embarque le permitirá comprar más baterías para más días de almacenaje que los recomendados. También hay muchos tipos de baterías con gran variación en calidad y costo. Es necesario conocer el rendimiento y el costo de diferentes baterías para tomar decisiones apropiadas.

Es importante comprar baterías de buena calidad que puedan ser descargadas y recargadas muchas veces antes de que fallen. No se deben usar baterías de automóviles si hay alguna otra clase. Las baterías de automóviles son diseñadas para producir una alta corriente durante un corto período de tiempo, y se recargan rápidamente. Las baterías de sistemas fotovoltaicos pueden ser descargadas lentamente durante muchas horas sin ser recargadas completamente por varios días o semanas. Especifique una batería que pueda soportar esta clase de servicio.

Finalmente, es importante entender el funcionamiento de un controlador de carga porque usted debe comprar uno que sea compatible con sus baterías. El controlador de carga es un dispositivo electrónico que trate de mantener el estado de carga de la batería entre límites preestablecidos. El voltaje de la batería se mide y se usa como el principal factor para estimar el estado de carga. (Algunos controladores de carga miden la temperatura de ka batería además del voltaje para estimar el estado de carga). Si el controlador no funciona correctamente, la batería se puede sobrecargar o permitir que se descargue demasiado. En cualquier caso se acortaría la vida de las baterías y usted tendría que gastar dinero para cambiarlas. No se olvide de consultar al suministrador de baterías sobre controladores compatibles de carga.

Usted debe entender el significado de los siguientes términos antes de especificar baterías para su sistema fotovoltaico.

- **PROFUNDIDAD DE DESCARGA:** Es el porcentaje de la capacidad nominal que se extrae de la batería. La capacidad de una batería para soportar la descarga depende de su construcción. Las baterías más comunes tienen placas eléctricamente activas, sumergidas en un electrólito. Las placas son del tipo Planté (plomo puro), pegadas o tubulares. Las placas pueden tener espesores y aleaciones diferentes, tales como plomo-calcio o plomo antimonio, para satisfacer aplicaciones específicas. Generalmente, mientras más gruesas sean las placas, mejor será la capacidad de la batería para soportar las descargas hasta niveles bajos y las recargas subsiguientes (ciclo de carga). Hay dos términos,

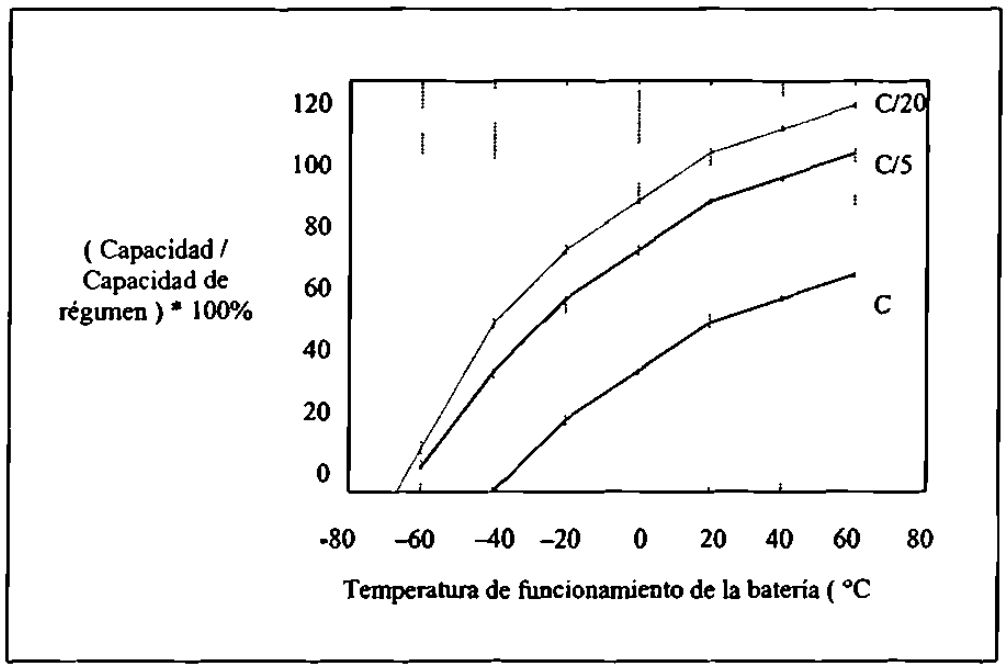
ciclo poco profundo y ciclo profundo, que se usan comúnmente para describir diferentes tipos de baterías. Las baterías de ciclo poco profundo son más livianas y menos costosas, pro no durarán mucho tiempo si se exceden constantemente los niveles de descarga recomendados. Muchas baterías de tipo sellado, o sea de cierre hermético, (anunciadas como que requieren mantenimiento) son del tipo de ciclo poco profundo. Generalmente, las baterías de ciclo poco profundo no deben descargarse más de un 25 %. Las baterías de ciclo profundo son las que se usan más a menudo en sistemas fotovoltaicos independientes. Estas baterías tienen placas más gruesas y en su mayoría pueden soportar descargas diarias de hasta 80% de la capacidad. La mayoría de estas baterías son del tipo inundado, es decir que las placas están cubiertas con el electrólito. Debe verificarse periódicamente el nivel de electrólitos y agregar agua destilada periódicamente para mantener las placas completamente cubiertas con electrólitos.

Otro tipo de batería que se puede usar tiene placas de níquel-cadmio (NiCd). Estas baterías son más caras pero pueden soportar condiciones atmosféricas más rigurosas. Las baterías de NiCd pueden descargarse casi por completo (100 %) sin sufrir daños y el electólito no se congelará.

El valor de máxima profundidad de descarga usada para determinar la capacidad será para el peor caso de descarga que sufrirá la batería. El controlador del sistema debe ser ajustado para evitar una descarga debajo de ese nivel. Debido a que las baterías de níquel.cadmio pueden descargarse 100 % sin sufrir daños, algunos proyectistas no usan controladores con este tipo de baterías.

- **CORRECCION DE TEMPERATURA:** Las baterías son sensibles a los extremos de temperatura y una batería fría no producirá la misma potencia que una caliente. La mayoría de las fábricas suministran curvas de corrección de temperatura, como las que se muestran en la Figura No. 5, para sus baterías. Por ejemplo, una batería tiene 100% de capacidad a 25°C si se descarga a una magnitud de C/20. (La magnitud de descarga se expresa como una relación de la

capacidad de régimen, C de la batería). Sin embargo, una batería que funcione a 0°C sólo tendrá el 75% de su capacidad de régimen si se descarga a la misma magnitud de C/20. Si la misma batería se descarga a una magnitud de C, sólo el 20% de la capacidad de régimen estaría disponible si la temperatura fuera - 20°C. Aun cuando la tabla indica que se puede obtener más capacidad que la nominal de una batería caliente, es necesario comprender que la operación a temperatura muy elevada acortará la vida de la batería. Trate de mantener sus baterías cerca de la temperatura ambiente.



CAPACIDAD EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DE UNA BATERIA DE PLOMO-ACIDO

Figura No. 5

- **CAPACIDAD DE REGIMEN DE LA BATERIA:** Este término indica la máxima cantidad de energía que puede producir una batería bajo condiciones específicas de temperatura y magnitud de descarga. Cuando compare la capacidad de baterías, asegúrese de usar una misma magnitud de descarga. Una capacidad indicada de 20 horas significa que la batería se descargará después de soportar una magnitud de descarga constante durante 20 horas.

- **ESTADO DE CARGA DE LA BATERIA (ECB)** Es la cantidad de capacidad que queda en una batería en cualquier momento dado. Equivale a 1 menos la profundidad de descarga expresada como un porcentaje.

- **VIDA UTIL DE LA BATERIA** Es dificil predecir la vida útil de una batería porque esto depende de diversos factores, tales como magnitud de carga y de descarga, profundidad de descarga, numero de ciclos de carga y descarga y las temperaturas de operación. Sería raro que una batería del tipo plomo-ácido durara más de 15 años en un sistema fotovoltaico, pero muchos modelos duran de 5 a 8 años. Las baterías de níquel-cadmio generalmente duran más tiempo cuando se emplea bajo condiciones similares y pueden funcionar satisfactoriamente durante más de 15 años bajo condiciones óptimas.

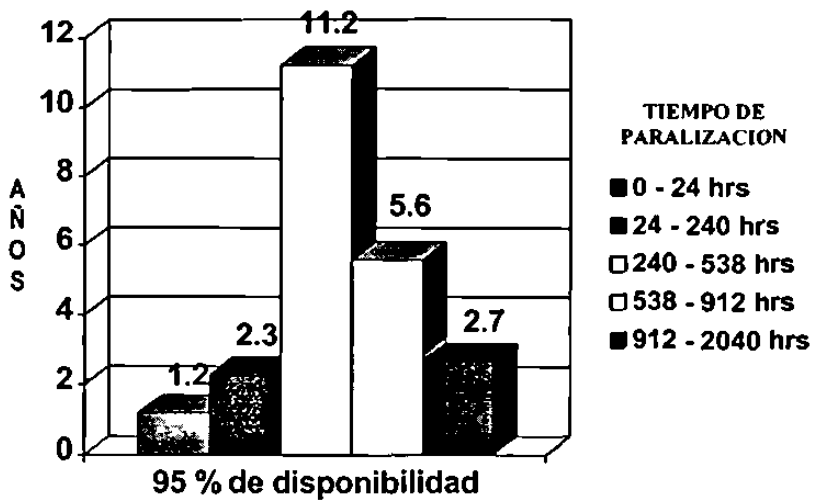
El mantener un estado de carga de 80% equivale a permitir una permitir una profundidad de descarga de 20%. No confunda los dos términos.

Una batería completamente cargada soportará una temperatura de -20°C. Una batería descargada se congelará a temperaturas ligeramente menores de 0°C.

5.6.2 DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA

Se define como disponibilidad del sistema el porcentaje de tiempo que un sistema de generación eléctrica es capaz de satisfacer la demanda de carga. El número de horas al año que el sistema está disponible, dividido entre 8,760 horas, dará la disponibilidad anual del sistema. Se espera que un sistema fotovoltaico con un 95% de disponibilidad pueda satisfacer los requisitos de carga un total de 8,322 horas en un año y medio, durante toda la vida útil del sistema. Una disponibilidad anual de 99% significa que el sistema puede alimentar la carga durante 8,672 horas de las 8,760 horas en el año.

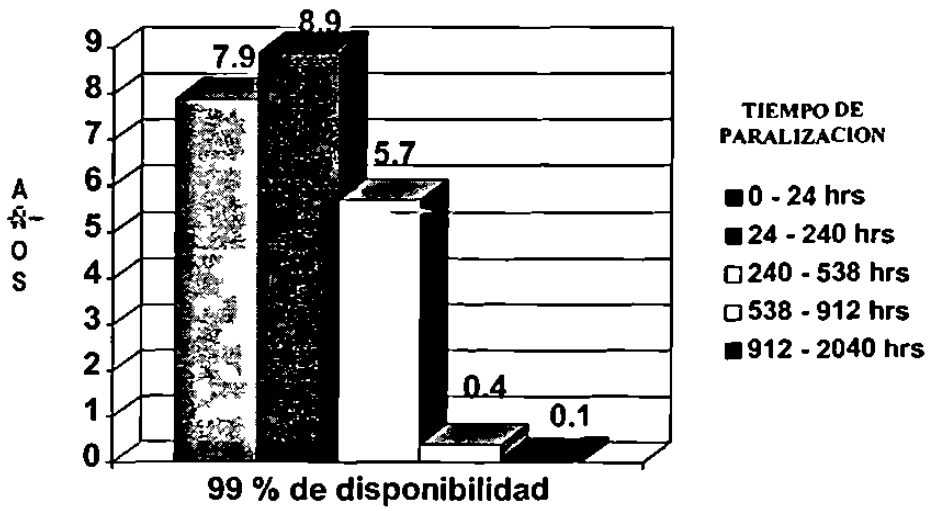
Las fallas y el tiempo de mantenimiento son las causas principales que reducen la disponibilidad de cualquier sistema de energía. Sin embargo, en el caso de los sistemas fotovoltaicos, la disponibilidad adquiere una incertidumbre adicional debido a las vacaciones de la fuente de energía del sistema. El diseño de un sistema fotovoltaico requiere un cálculo estimado de la cantidad media de la luz solar disponible. El uso de estos valores significa que en un año con insolación solar media, puede ser que el sistema no sufra ningún tiempo de paralización. Sin embargo, en un día nublado, el sistema puede no estar disponible más del 5% de las horas en un año. El concepto de disponibilidad del sistema también es útil cuando se trata de promedios a largo plazo, pues no indica "cuando" no estará disponibilidad el sistema. Hay una distribución de años meteorológicos alrededor del año medio que una idea de los posibles tiempos de paralización durante la vida del sistema. Un resumen de los resultados de un estudio de esta distribución se muestra en las Figuras 6 y 7. Para un sistema con una disponibilidad del 95%, un tiempo de paralización de 5% esto es en la figura 6, será distribuido sobre la vida supuesta de 23 años del sistema en la forma siguiente: 1.2 años tendrán menos de 24 horas de paralización por año; 2.3 años tendrá entre 25 y 240 horas; 11.3 años tendrán entre 241 y538 horas; 5.6 años tendrán entre 539 y 912 horas y 2.3 años tendrán más de 913 horas de paralización.



TIEMPO DE PARALIZACIÓN ANUAL (95%)

FIGURA No. 6

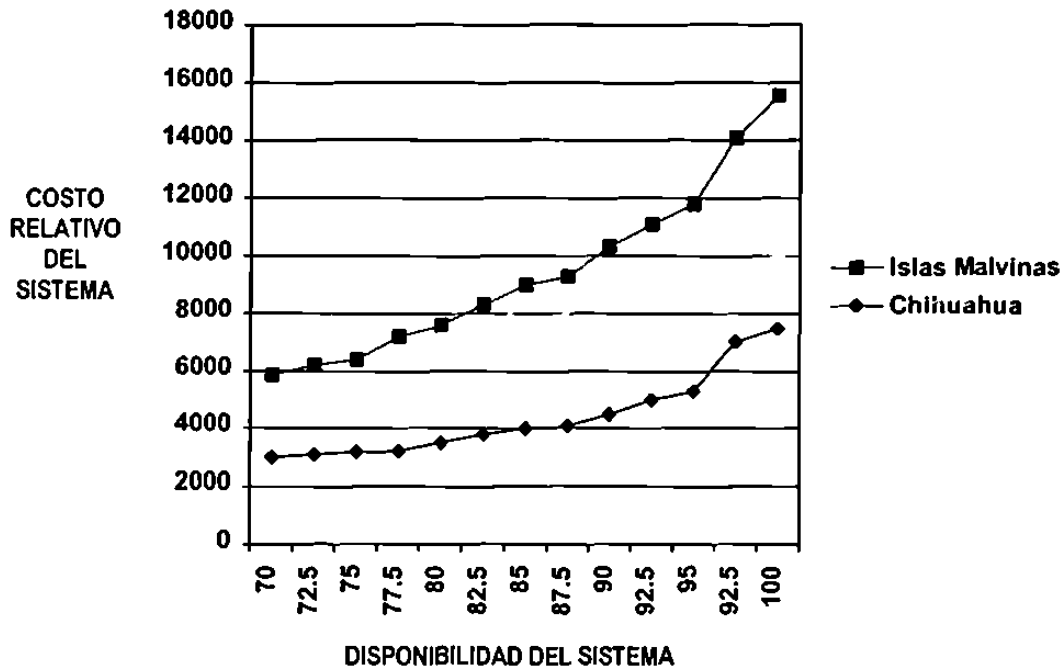
En la figura No. 7 se muestra una disponibilidad de 99%. Note la diferencia de distribución. El sistema diseñado para una disponibilidad de 99% tendrá menos de 240 horas de paralización durante un tiempo de 17 a 23 años, mientras que el sistema con 95% de disponibilidad tendrá un máximo de 240 horas de paralización en apenas 3.5 años. Sin embargo, el proyectista debe considerar el costo requerido para aumentar la disponibilidad del sistema. Este costo sube rápidamente a medida que se procura llegar hasta los últimos puntos de porcentaje, como por ejemplo para aumentar la disponibilidad de 90 a 99%. Esto es particularmente cierto en los lugares donde la diferencia entre los valores de insolación de verano e invierno es muy grande.



TIEMPO DE PARALIZACIÓN ANUAL (99%)
FIGURA No. 7

En la figura No. 8 se muestra un ejemplo para dos sitios. Para un sitio soleado, el costo adicional no aumenta rápidamente hasta una disponibilidad de 98%. Para un sitio con una pobre insolación solar en invierno, el costo de una mayor disponibilidad aumenta rápidamente después del 90%.

En los ejemplos de proyectos fotovoltaicos presentados aquí, se definen y usan estos dos niveles de disponibilidad: 95% para cargas no críticas y 99% para cargas críticas. Las cargas críticas son aquellas en que una falla del sistema puede ocasionar la pérdida de vida o daños costosos. Una señal de cruce de ferrocarril o un faro de navegación para aviones sería carga crítica. Los sistemas residenciales y de bombeo de agua no son cargas críticas. La diferencia principal en el diseño es la capacidad del subsistema de batería.



COSTO EN FUNCION DE LA DISPONIBILIDAD CHIHUAHUA, MÉXICO E ISLAS MALVINAS

Figura No. 8

En resumen, la proyectista debe entender la relación entre el costo y la disponibilidad. La experiencia demuestra que los clientes que desean instalar sistemas fotovoltaicos tienen la tendencia a especificar requisitos excesivos, los que elevan demasiado el costo inicial del sistema. Ellos deberían tener en cuenta que ningún

sistema generador de energía puede estar disponible el 100% del tiempo. Las empresas de servicios públicos obtienen una alta disponibilidad de sus sistemas porque usan fuentes de energía múltiples y redundantes. Muy pocos sistemas generadores, ya sea hidroeléctricos, nucleares o termoeléctricos pueden lograr una disponibilidad de 90%. En cambio, muchos sistemas fotovoltaicos pueden exceder ese porcentaje, aun tomando en cuenta el mantenimiento y las variaciones solares.

- El concepto de disponibilidad del sistema tiene un significado especial en sistemas fotovoltaicos.
- La duración de la batería depende de si se usa en buena forma o si se maltrata.
- No especifique más de 99% de disponibilidad, a menos que acepte el mayor costo.
- La temperatura en que se congela una batería depende de su estado de carga.

5.6.3 MANTENIMIENTO

Toda batería requiere mantenimiento periódico; aun las baterías selladas "libres de mantenimiento" se deben inspeccionar para asegurar que las conexiones estén apretadas y las cajas limpias e intactas. En las baterías inundadas, el nivel de electrólito debe ser mantenido por encima de las placas, y las celdas se debe observar para que tengan valores constantes. Las variaciones entre celdas de V/ celda o 0.05 puntos de gravedad específica pueden indicar problemas con la batería. La gravedad específica de las celdas se debe verificar con un hidrómetro, con el estado de carga de la batería aproximadamente en 75%.

La mayoría de los fabricantes de baterías inundadas recomiendan sobrecargar las baterías varias veces al año para reducir la estratificación del electrólito. La estratificación puede ocurrir si la batería funciona a un mismo régimen, digamos con un estado de carga entre 60 y 90%, durante mucho tiempo. Esta carga igualadora, de 15 a 30 minutos de duración, mezcla completamente el electrólito. La carga se obtiene

generalmente de un generador, pero también se puede hacer con un arreglo fotovoltaico si se desconecta la carga y el controlador. Pida recomendaciones a la fábrica sobre cargas igualadoras.

En ambientes fríos, el electrólito de las baterías de plomo-ácido se puede congelar. La temperatura de congelación es una función de su estado de carga. Cuando una batería está completamente descargada, casi todo el electrólito es agua y la batería se puede congelar a temperaturas de unos pocos grados debajo de 0°C. Sin embargo, una batería completamente cargada tendrá una gravedad especifica de cerca de 1.24 y podrá resistir temperaturas tan bajas como 50 °C. En climas fríos, muchas veces las baterías se encierran debajo de la línea de congelación en un compartimiento aislado para mantener una temperatura constante. Las baterías de níquel-cadmio no son dañadas por el frío.

- La temperatura en que se congela una batería depende de su estado de carga.

5.6.4 TIPOS

Usted debe familiarizarse con los términos usados comúnmente, tales como ciclo profundo o poco profundo electrólito gelatinoso o cautivo, electrólito líquido, y batería sellada o inundada. Las baterías de ciclo profundo se fabrican con placas más grandes y están diseñadas para soportar un número de ciclos de carga y descarga antes de fallar. El número de ciclos depende de la profundidad de descarga, la velocidad de descarga, la cantidad de tiempo antes de la recarga y la velocidad de recarga, entre otras cosas. Las baterías de ciclo poco profundo usan placas más ligeras y no pueden ser recicladas tantas veces como las baterías de ciclo profundo. Si estas baterías se descargan una o dos veces se echarían a perder. Por esta razón, no se deben usar en algunos sistemas fotovoltaicos. Algunas baterías tienen electrólitos cautivos. Una de las formas más comunes de restringir el electrólitos es usar una batería con celdas gelatinosas. La batería de electrólito cautivo es fácil de mantener porque está usualmente sellada y no hay posibilidad de derrame si se vuelca la batería accidentalmente. La mayoría de las

baterías selladas en realidad son reguladas con una válvula que permite el escape del gas hidrógeno pero no se les puede agregar electrólito. Estas baterías pueden ser clasificadas como de ciclo profundo, pero generalmente soportan menos ciclos que las baterías de placas inundadas de tipo industrial. Las baterías con electrólitos líquidos pueden ser selladas o abiertas. Usualmente si la capacidad es mayor que 100 amperios-horas, las baterías son abiertas. A las baterías inundadas se les debe agregar electrólito periódicamente.

Las baterías que se usan en sistemas fotovoltaicos independientes deben ser del tipo de ciclo profundo para servicio pesado. Estas baterías se pueden obtener con electrólito líquido (inundadas o selladas) o cautivo (celdas gelatinosas). Debido a que el plomo es un metal blando, frecuentemente se agregan otros elementos, como antimonio o calcio, para reforzar las placas y cambiar las características de la batería. La batería de plomo-antimonio soportará ciclos de descarga más profundos. Sin embargo, las baterías de plomo-antimonio requieren un mantenimiento regular porque tienen un alto consumo de agua. Las baterías de plomo-calcio se pueden usar cuando no se anticipan muchas descargas profundas. Su costo inicial es menor, pero tiene una vida útil más corta que las baterías de plomo-antimonio.

Actualmente se puede adquirir comercialmente baterías de níquel- cadmio en algunos países. Su costo inicial es generalmente más alto que el de las baterías de plomo-ácido. Las ventajas de las baterías de níquel-cadmio incluyen una larga vida, bajos requisitos de mantenimiento, durabilidad y capacidad y capacidad de soportar condiciones extremas con altas o bajas temperaturas. Además, las baterías de níquel-cadmio son más tolerantes a ciclos extremos de recarga y descarga. Debido a esta tolerancia, el dispositivo controlador se puede eliminar en ciertas aplicaciones. Los controladores comúnmente disponibles están diseñados para funcionar con baterías de plomo-ácido y el régimen de carga es diferente para las baterías Níquel-cadmio los controladores no son intercambiables.

5.6.5 PELIGROS

La mayoría de las baterías contienen ácido o materiales cáusticos que son peligrosos o mortíferos si no se manejan con sumo cuidado. Además, las baterías de electrólito líquido producen gas explosivo de hidrógeno cuando se están recargando. Estas baterías se deben instalar en un sitio bien ventilado. No se deben instalar otros componentes del sistema eléctrico en el compartimiento de la batería, ya que cualquier chispa podría encender los gases. Además, los gases de las baterías de plomo-ácido son corrosivos y pueden dañar los componentes eléctricos. Se pueden obtener tapas catalizadoras o recombinadoras para las celdas. Estas tapas capturan el hidrógeno que emana de la batería y lo recombinan con oxígeno para formar agua líquida que es devuelta al electrólito. Estas tapas tienen una vida útil de tres a cinco años. Si se usan, deben inspeccionarse y limpiarse periódicamente para asegurar un buen funcionamiento.

Toda batería deber ser considerada peligrosa, particularmente para niños y animales. El acceso a las baterías se debe limitar a personas experimentadas. Mantenga las terminales cubiertas. Una batería típica usada en un sistema fotovoltaico puede producir más de 6,000 amperios de corriente si sus terminales se ponen en corto circuito. Aunque esta corriente tan alta durará solamente unos milisegundos, es suficiente para soldar eléctricamente una herramienta a los terminales. Mientras más alta sea la tensión, mayor será el peligro. Con tensiones más altas que 24 Volts existe un peligro de choque eléctrico que puede ser fatal bajo ciertas condiciones. Aun a 12 Volts, la alta corriente puede causar quemaduras si se cortocircuita accidentalmente la batería. Utilice herramientas aisladas y use guantes, zapatos y gafas protectoras cuando trabaje con baterías. Finalmente, recuerde que las baterías son muy pesadas, al levantar o mover una batería con las manos, haga fuerza en sus piernas y no con su espalda.

5.6.6. SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN

En algunos países se pueden obtener muchos tipos de baterías y la variación en las especificaciones de fábrica hace difícil compararlas características de rendimiento. En otros países sólo se encuentran baterías de automóvil, en estos casos, trate de obtener una batería diseñada para camiones o equipos pesados. Estas baterías son generalmente más grandes de capacidad y serán más capaces de funcionar en un sistema fotovoltaíco. El mejor consejo es analizar sistemas en donde han usado baterías en aplicaciones y condiciones similares. En caso contrario, consulte a varios fabricantes y compare las respuestas.

5.6.7 EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta había tenido que escoger el número de días de almacenaje y seleccionar la batería que iban a usar. Al igual que muchas otras personas, sabían muy poco acerca de baterías y de las características que eran importantes para los sistemas fotovoltaicos. El único suministrador de batería en Durango era un vendedor de partes de automóviles. Este suministrador tenía una batería anunciada como batería de ciclo profundo para servicio marino. (El suministrador no tenía batería de níquel-cadmio). La familia Acosta deseaba comparar su rendimiento con el de una batería vendida para grandes camiones que también tenía ese suministrador. Sin embargo, los datos eran escasos y las comparaciones difíciles. También era difícil encontrar una correlación entre las características y el precio. Aún cuando el suministrador era atento, no tenía experiencia con baterías para sistemas fotovoltaicos. Sugirió que la familia Acosta hicieran una lista de preguntas para enviarlas a su suministrador en la ciudad de México.

LA FAMILIA ACOSTA	VENDEDOR
PREGUNTAS	RESPUESTAS
¿Venden ustedes baterías para sistemas fotovoltaicos?	¿Para qué?
Para sistemas fotovoltaicos....Electricidad solar	Ah, sí. Nuestra compañía tiene una batería solar.
¿Han vendido ustedes localmente algunas baterías para sistemas fotovoltaicos?	No, pero puedo llamar y preguntar cuántas se han instalado.
¿Qué tipo de batería es?	De plomo-calcio
¿Cuál es la capacidad de régimen?	La batería de 12 V tiene 105 ampere-horas.
¿A qué régimen de horas?	10 horas.
¿A qué temperatura?	Temperatura ambiente
¿La batería s de cierre hermético?	Si, no necesita mantenimiento.
¿Cuál es la profundidad de descarga máxima?	No más de 20%
Bien. Si mantengo el estado de carga a más del 80%. ¿Qué duración puede esperar?	No me gusta tratar de la duración de las baterías porque no sé cómo se van a usar
¿Cinco años? ¿Diez años?	Debe durar más de cinco años. Si usted es cuidadoso.
¿Cuánto pesa?	20 kilos.
¿Cuánto cuesta la batería?	$ 100 dólares cada una.
Eso es más o menos $1 por ampere-hora. ¿Hay descuento si compro diez baterías?	La daremos un buen precio.
Muchas gracias. Volveré después de hablar con otras casas vendedoras.	Aquí tiene un folleto, que incluye una descripcion de la batería.

La familia Acosta prepararon un listado para valorar a los fabricantes ya que las baterías son un subsistema clave y querían comprar las mejores disponibles. Querían investigar las baterías de níquel-cadmio debido a su larga vida y capacidad de soportar descargas profundas. Enconstraron algunas baterías NiCd en un catálogo pero costaban casi cuatro veces más que las baterías de plomo-ácido disponibles localmente. Después de considerar el costo, tamaño, disponibilidad y servicio local decidieron usar las baterías de ciclo profundo de tipo marino.

PREGUNTAS	FABRICA 1	FABRICA 2	FABRICA 3
¿Tipo de placas?			
¿Tipo de electrólito?			
¿Tipo abierto o cerrado?			
¿Capacidad de régimen?			
¿Profundidad de descarga permisible?			
¿Numero de ciclos?			
¿Se necesita igualación de carga?			
¿Gama de temperatura permisible?			
¿Régimen de reducción de temperatura?			
¿Precio?			
¿Tamaño o capacidad?			
¿Peso?			
¿Duración probable?			
¿Costo por ampere-hora?			
¿Costo por kilogramo?			
¿Gasto de envío o embarque?			
¿Valor residual?			

La decisión que tomaron la familia Acosta fue comprar más baterías y usar un controlador, esto lo obtendrían de un vendedor de equipos solares en Ciudad de México, para limitar la profundidades descarga a 50% . Pensaron que esta forma podrían tener las baterías en funcionamiento durante más de 8 años. Además, estarían disponibles para mantenimiento preventivo y agregar agua como sea necesario. La familia Acosta continuó trabajando en su proyecto asumiendo tres días de almacenaje y una descarga máxima permitida de 50%.

5.7 ARREGLOS FOTOVOLTAICOS

¿Cuántos módulos necesito?

¿Cómo puedo comparar el rendimiento de los módulos?

¿Cómo debo instalar los módulos?

5.7.1 CAPACIDAD

Después de anotar los valore en la hoja de cálculo No. 4, que se muestra parcialmente más abajo, puede determinar la magnitud de potencia fotovoltaica necesaria para satisfacer la demanda estimada de carga durante el mes de potencia máxima y mantener las baterías completamente cargadas. El proyectista del sistema debe obtener especificaciones de los módulos disponibles y comparar el rendimiento, capacidad y costo. Generalmente se encuentran varios tipos de módulos que pueden satisfacer un grupo determinado de requisitos.

HOJA DE CALCULO No 4 — CALCULO DE CAPACIDAD

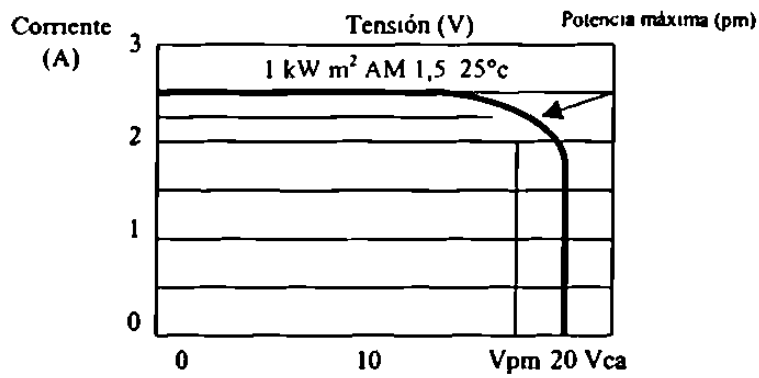
46 Corriente del proyectos (A) 28	47 D Factores de reducción Del módulo (DECIMAL)	48 D Corriente Reducida Del proyecto (A)	49 D Corriente de régimen del módulo (A)
28.8	÷ 0.9	= 31.1	÷ 3.0

	51 Tensión nominal de la batería 37	52 Baterías en serie 38	53 Tensión necesaria para la carga de batería (V)
1.20	X 6	X 2	= 14.4

NOTA PARA EL CUADRO DE INFORMACIÓN DE MODULO

En el método de diseño que se presenta aquí se usa corriente en amperes en lugar de potencia watts para describir el requisito de suministro de carga, porque así es más fácil comparar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos. Por ejemplo, usted podría consultar sobre módulos fotovoltaicos que produzcan 30 a 12 V, a una temperatura de funcionamiento especificada. En seguida podrá comparar el costo de los productos de cada fabrica consultada.

En la hoja de cálculos es necesario ingresar la corriente de régimen del módulo. Esta es la corriente producida bajo las condiciones estándar de prueba de 1,000 W / m2 de irradiancia solar a una temperatura de 25°C. En la figura 9 se indican las especificaciones suministradas por una fábrica de módulos. Los valores de corriente que se muestran corresponden a la de cortocircuito, Icc y a la del punto de potencia máxima, Ipm. La tensión del punto de potencia máxima se especifica en 16 V. La tensión de la batería determina la tensión de funcionamiento de un arreglo fotovoltaico. El valor de tensión varía dentro de un estrecho margen, lo que depende del estado de carga y de la temperatura de la batería. Generalmente esta tensión es de 1 a 4 V más baja que la tensión de los calores de potencia máxima especificados por las fábricas de módulos. Afortunadamente, la corriente varía muy poco desde el valor máximo de tensión (17V) hasta la tensión normal de la batería (12 V).



Corriente de corto circuito	Icc	2.44 A
Tensión de circuito abierto	Vca	20.1 V
Corriente en el punto de potencia máxima	Ipm	2.2 A
Tension en el punto de potencia maxima	Vpm	16 V
Potencia		35.2 W

Especificaciones de un Módulo Fotovoltaico

Figura No.9

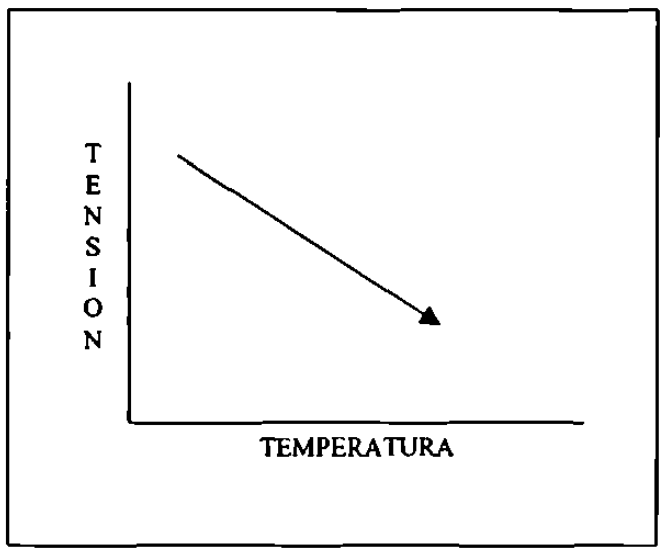
Sin embargo, si se usan módulos cristalinos la tensión disminuirá aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado de aumento de temperatura. El módulo que se especifica en la Figura No. 9 tiene una tensión de potencia máxima de 16 V a 25 °C. Si la temperatura de este módulo subiera a 50 °C en una aplicación específica, la tensión de potencia máxima bajaría a cerca de 14 V, que todavía resulta adecuada para un sistema que requiere una tensión nominal de 12 V, pero el proyectista debe de asegurarse que la corriente suministrada por el módulo sea adecuado bajo las condiciones más calurosas. Además, si se usa un diodo de bloqueo entre el módulo y la batería, se producirá una caída de tensión de cerca de 0.7 V. Los módulos deben ser capaces de soportar esta caída de tensión para cargar completamente la batería. Los parámetros del módulo bajo condiciones estándar de prueba y a las más altas temperaturas anticipadas, deben ser anotados en el especio correspondiente de la hoja de cálculo.

Al calcular el número de módulos conectados en paralelo que son necesarios para generar la corriente del proyecto, rara vez se obtiene un número entero y el proyectista debe decidir si redondearlo al entero siguiente o al anterior. Para tomar una decisión es

necesario considerar los requisitos de disponibilidad del sistema. Como el proyecto de la familia Acosta que es un sistema moderado, destinado a suministrar la demanda de cargas durante el peor mes de un año promedio, se recomienda la siguiente decisión:

- PARA DISPONIBILIDAD CRITICA: Redondear al número siguiente.
- PARA DISPONIBILIDAD NO CRITICA: Redondear al número anterior.

El número de módulos conectados en serie se calcula dividiendo la tensión del sistema por la tensión nominal del módulo. En los sistemas fotovoltaicos independientes se utilizan generalmente módulos de 12 V.



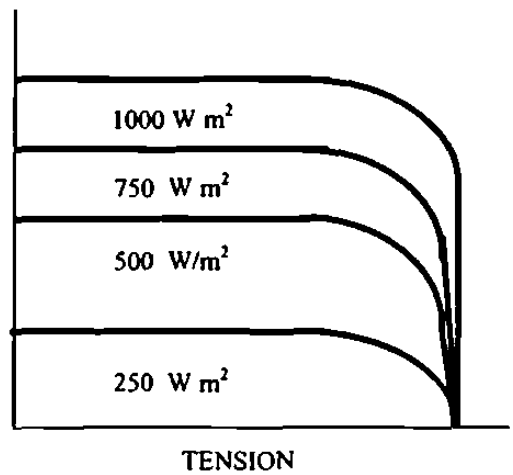
La tensión de un módulo disminuye 0.5% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura de funcionamiento.

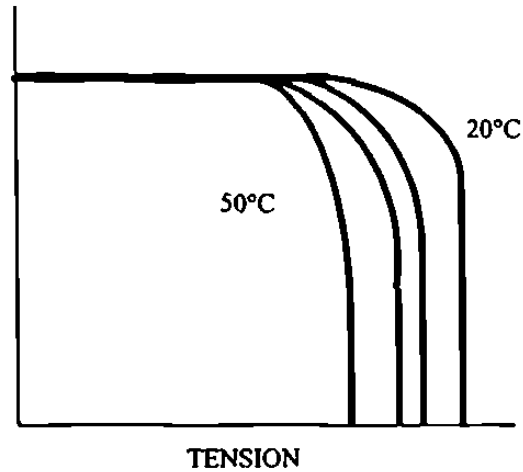
30706

5.7.2 CARACTERÍSTICAS

El arreglo fotovoltaico consiste en dos o más módulos conectados en forma tal que puedan obtener la tensión y corriente deseadas. El módulo fotovoltaico consiste en un grupo encapsulado de células solares y constituyen la unidad del arreglo menos reemplazable. La mayoría de los módulos fotovoltaicos se fabrican usando células de silicio de un solo cristal (monocristalinas) o de varios cristales (poli-cristalinas). Estas células están embutidas en un laminado, generalmente con una placa frontal de vidrio templado y una cubierta suave y flexible para sellar la parte posterior.

Hay cuatro factores que determinan la potencia de salida de un módulo fotovoltaico: resistencia de la carga, la irradiancia solar, temperatura de las celdas y rendimiento de las celdas fotovoltaicas. La salida de un módulo determinada se puede calcular aproximadamente estudiando una familia de curvas gráficas de corriente y tensión (I V), como las que a continuación mostramos.



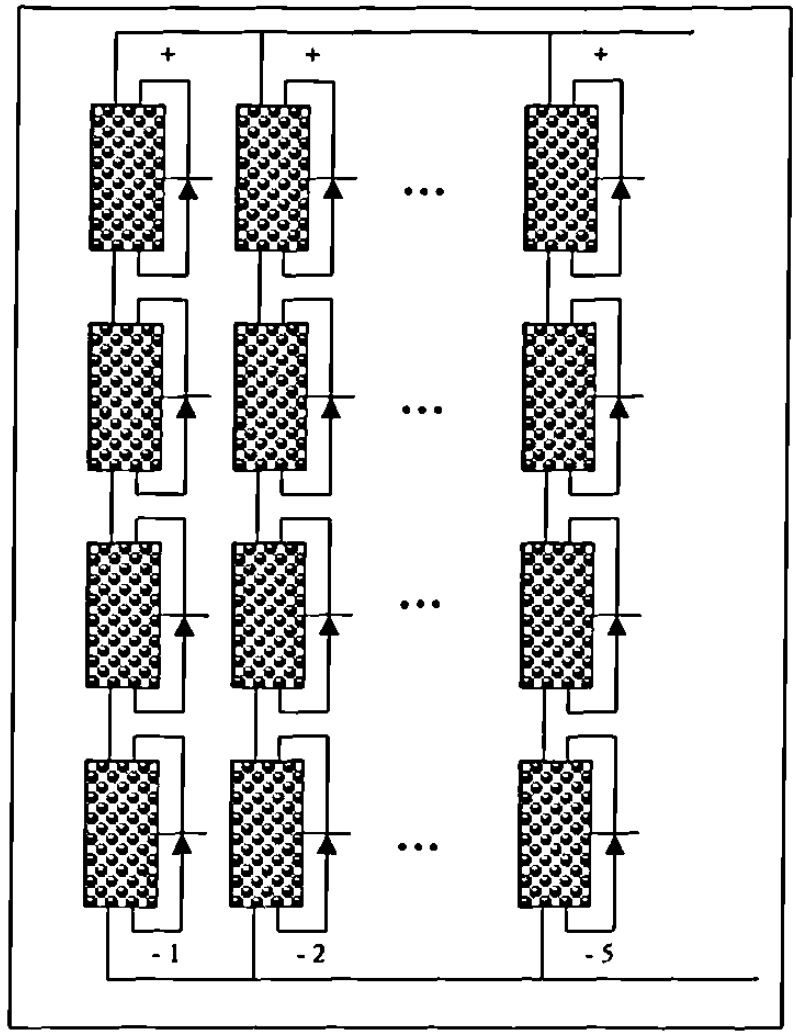


Hay tres puntos importantes de interés en la curva I-V: el punto de potencia Máxima, la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. La corriente de la celda solar es directamente proporcional a la irradiancia solar (S) y es casi independiente de la temperatura (T). La tensión y la potencia disminuyen a medida que la temperatura aumenta. Por ejemplo, la tensión de las células cristalinas disminuye aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado de aumento. Por lo tanto, los arreglos tienen que mantenerse fríos e instalarse de manera que no se impida la circulación de aire por la parte superior y posterior del arreglo. Los módulos no se deben montar en la orilla del techo. En pruebas realizadas se demostró que si se deja un especio libre de unos 8 cm entre la parte superior y el techo, él modulo funcionará a 15°C menos de temperatura que si se instalara directamente sobre el techo, lo que traduce en un 7.5 % de aumento de tensión y potencia.

Ninguna parte de un arreglo fotovoltaico debe quedarse en la sombra. A diferencia de los colectores térmicos solares, la sombra sobre pequeñas partes de un módulo puede reducir considerablemente la energía de salida de todo el arreglo. Los módulos conectados en serie deben conducir una misma cantidad de corriente. Si algunas células quedan bajo sombra, no podrán producir corriente y pasarán a una polarización inversa.

Esto significa que dichas células disiparán energía en forma de calor y fallará después de cierto tiempo.

Sin embargo, como es imposible evitar una sombra ocasional, se recomienda colocar diodos de paso o derivación alrededor de los módulos conectados en serie. Estos diodos no se necesitan si todos los módulos están en paralelo, como en un arreglo de 12 V que usa módulos también de 12 V, y muchos proyectistas no los usan en arreglos de 24 V. Sin embargo, en el caso de tensiones mayores de 24 V, cada módulo debe estar provisto de un diodo de paso para tener un camino alternativo para la corriente en caso de sombra . En la figura No. 10 se muestra el uso de diodos de paso en una cadena de 48 V conectada en serie. Note que los diodos tienen polarización inversa cuando todos los módulos están funcionando correctamente. Muchas fábricas de módulos ofrecen módulos con estos diodos integrados en la caja de conexiones del módulo.



CADENA EN SERIE CON DIODOS DE PASO

FIGURA No. 10

Si usted necesita módulos conectados en serie pídale a la firma vendedora que le suministre módulos conectados en serie pídale a la firma vendedora que le suministre módulos provistos de diodos de paso. El uso de diodos de paso puede postergar una falla pero no evita la pérdida de producción de energía debida a la sombra. Es importante determinar si hay peligro de sombra antes de instalar un arreglo fotovoltaico. Considere los cambios que suceden en las estaciones y en el ángulo del sol. Después de la instalación, el área debe ser mantenida para evitar que la maleza o las ramas de árboles proyecten sombra sobre el arreglo.

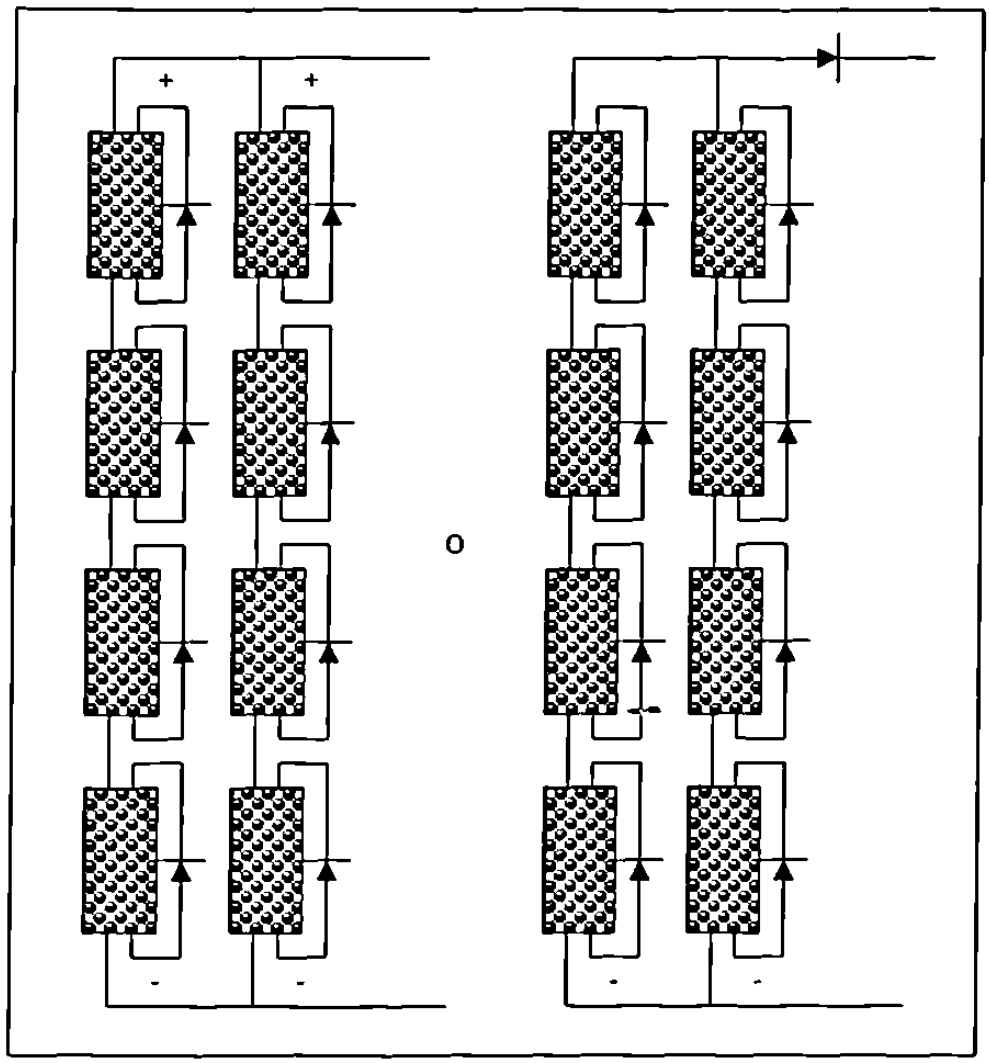
Los arreglos fotovoltaicos incluyen paneles y circuitos fuentes. Un panel es un grupo de módulos fotovoltaicos empacados en un solo marco. Un circuito fuente, a veces llamada una cadena, es un número de módulos fotovoltaicos conectados en serie para producir la tensión del sistema. Muchos paneles pueden estar conectados eléctricamente para formar un circuito fuente, pero cada panel debe tener el tamaño correcto para facilidad de manejo y montaje.

Todos los grupos de módulos fotovoltaicos deben tener conectores duraderos en el mismo módulos. Los conectores deben ser resistentes y el método de conectar los cables debe ser simple proveer una conexión segura. La mayoría de los módulos tienen cajas de empalme sellada para proteger las conexiones. La experiencia de pruebas en el campo muestra que las células fotovoltaicas y las conexiones entre células dentro del laminado del módulo raramente fallan. La mayoría de los problemas ocurren en la capa de empalmes del módulo donde se efectúan las interconexiones entre módulos. Muchas veces estas fallas pueden ser reparadas en el campo sin cambiar el módulo. Antes de comprar un módulo, vea la caja de empalmes y determine si sabe cómo hacer las conexiones. ¿Son las terminales resistentes y hay un lugar para conectar los diodos de paso? ¿Es la caja de empalmes de buena calidad?.

El flujo de corriente dentro de un sistema fotovoltaico se puede controlar mediante diodos de bloqueo. Todo sistema fotovoltaico independiente debe tener un método para impedir el flujo inverso de corriente de la batería al arreglo y/o para proteger cadenas

débiles o defectuosas. Los diodos de bloqueo se usan a veces con este fin si el controlador utilizado no está provisto de esta características. En la figura No. 11 se muestra la ubicación de los diodos de bloqueo que se pueden instalar en cada cadena conectada en paralelo o en el cable principal que conecta el arreglo con el controlador. Cuando se conectan en paralelo cadenas múltiples, como sucede en los sistemas de gran capacidad, se recomienda usar diodos de bloqueo encada cadena, como se muestra a la izquierda, para impedir el flujo de corriente desde las cadenas fuertes hasta las débiles. En los sistemas pequeños es suficiente usar un solo diodo en el cable principal de conexión. No se deben usar ambos. Recuerde que la caída de tensión a través de cada diodo, 0.4 a 0.7 V, representa casi un 6% de caída en un sistema de 12 V. En un sistema con una tensón nominal de 48 V, este porcentaje de caída tendría menos consecuencias.

Se recomienda la instalación de un interruptor o disyuntor para aislar el arreglo fotovoltaico si necesita mantenimiento. Esta misma recomendación se aplica al circuito de la batería, para lo cual se requiere otro interruptor o disyuntor. Además, generalmente se instalan disyuntores o interruptores para aislar cada carga. Los fusibles se instalan en el circuitos eléctricos para proteger los conductores que llevan corriente. Los fusibles en el circuito del arreglo deben tener suficiente capacidad para dejar pasar la corriente máxima que se pudiera producir con el "enfocamiento" de la luz solar por las nubes. Este fenómeno es de corta duración pero aumenta la corriente de cortocircuito 1.5 veces cuando la irradiación es 1,000 W / m^2.



ARREGLO DE 48 V CON EL USO DE DIODO DE BLOQUEO

FIGURA No. 11

Se recomienda los fusibles de acción lenta y sólo se deben usar fusibles cuya capacidad esté basada en el funcionamiento con c.c. No se recomienda el uso de fusibles de automóviles. Se recomienda que todas las partes metálicas de un arreglo fotovoltaico estén conectadas a tierra para proteger el arreglo contra sobre tensiones causadas por rayos y como una medida adicional de seguridad para el personal que trabaja en el

sistema. El conductor negativo de la mayoría de los sistemas fotovoltaicos también se conecta al mismo electrodo de tierra usando para poner a tierra el equipo.

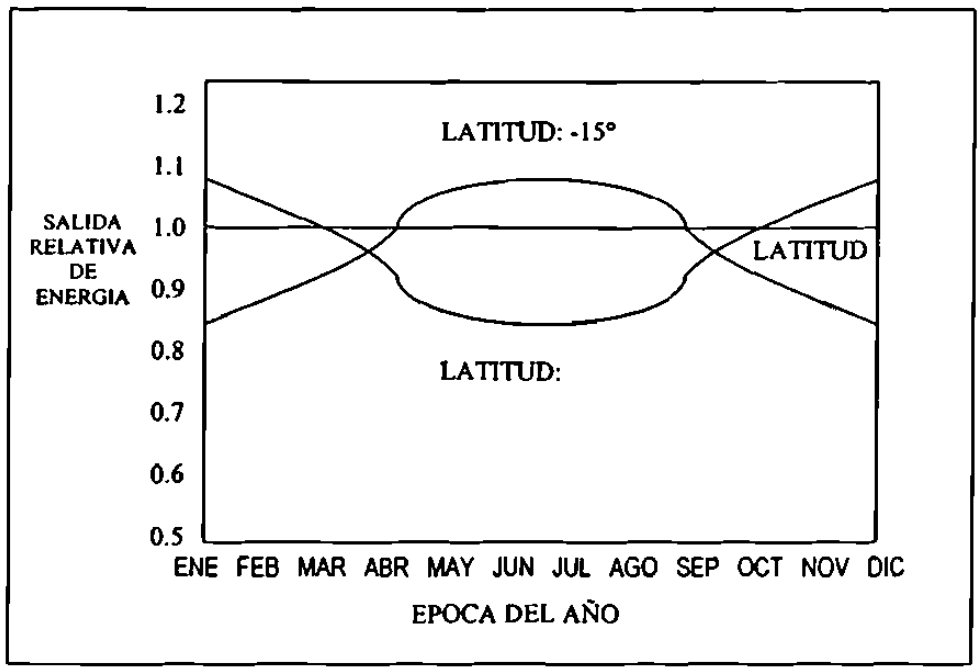
Otras características de seguridad se encuentran contenidas en los códigos nacionales. El objeto de estos códigos y reglamentos es asegurar la instalación de sistemas fotovoltaicos y duraderos. En los Estados Unidos, las reglas principales están especificadas en el National Electrical Code® (NEC) Código Eléctrico Nacional. Cualquier persona que considere la instalación de un sistema debe conocer los requisitos del código para su país.

- La sombra sobre una sola celda puede reducir gran parte de la potencia total del arreglo.
- Se usan diodos de paso para proteger los módulos.
- Los fusible e interruptores se usan para proteger los equipos y las personas.
- Use sólo componentes especificados para c.c. (corriente continua).
- Los diodos de bloqueo impiden el flujo de corriente hacia el arreglo.

5.7.3. ORIENTACIÓN

El arreglo fotovoltaico se puede instalar a un ángulo fijo desde el plano horizontal, o se puede montar sobre un mecanismo seguidor de la luz solar. El acimut preferible para la instalación del arreglo en el hemisferio norte es el sur verdadero. La disminución de producción de energía de los arreglos desplazados del sur verdadero constituye aproximadamente una función cosinusoidal de manera que, si el acimut del arreglo se mantiene a +/-20 grados del norte verdadero, la producción actual de energía no será afectada. Algunos arreglos se sitúan al oeste del norte con el fin de orientar la producción hacia un máximo después del mediodía. El efecto del ángulo de inclinación del arreglo en la producción anual de energía se muestra en la Figura No. 12. En la mayoría de las aplicaciones de sistemas fotovoltaicos, el máximo de energía durante un

año completo se obtiene con un ángulo de inclinación próximo al de la latitud. Los ángulos de inclinación de +/- 15 grados orientarán la producción de energía hacia el invierno o el verano, respectivamente.



EFECTO DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL ARREGLO SOBRE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE ENERGÍA.
FIGURA No. 12

5.7.4 EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta obtuvieron datos de rendimiento de dos diferentes módulos de sílice cristalino. Ellos completaron la hoja de cálculo No. 4 y seleccionaron un módulo que pudiera satisfacer sus requisitos. Debido a que consideraron que la carga no era crítica, redondearon el número de módulos de 13.5 a 12. Basándose en la regla empírica de cálculo aproximadamente estimaron que la temperatura del arreglo sería 20°C más alta que la temperatura ambiente máxima; por lo tanto, el arreglo alcanzaría unos 55 °C el día más caluroso. Se aseguraron de que cada módulo tuviera más de 14.5 V de tensión para cargar completamente la batería. Deseaban usar un controlador que tuviera

protección contra corriente inversa para evitar la caída de tensión producida por los diodos de bloqueo.

Antes de tomar una decisión final, inspeccionaron cuidadosamente las cajas de conexiones del módulo. Decidieron que las conexiones fueran fáciles de hacer, pero que al mismo tiempo durante más de 20 años. Cuando estuvieron satisfechos, compraron los módulos del suministrador local.

Los Acosta planearon configurar el arreglo con seis segmentos paralelos de dos módulos conectados en serie (6P x 2S).Con esta configuración, no necesitaría diodos de paso a través de los módulos. También preguntaron por estructuras de montaje suministradas de fábrica. Encontraron que podían obtener estructuras adaptadas a las especificaciones electromecánicas de los módulos. La familia Acosta vieron que estas estructuras listas resultaban menos costosas que cualquiera que hubieran podido hacer ellos mismos, así que ordenaron y recibieron todos los materiales necesarios para montar en el terreno todo el arreglo fotovoltaico. Usaron cables para anclar la estructura de soporte del arreglo de modo que pudiera resistir los vientos de la región.

Consultaron a la firma vendedora acerca de cómo podrían saber si el arreglo funcionaría en la forma especificada sin tener que instalar numerosos instrumentos caros. El vendedor sugirió que sólo instalaran un amperímetro y les dijo que podrían esperar más del 80% de la corriente de régimen al mediodía en tiempo claro. La familia Acosta calcularon que este porcentaje significaba que el arreglo debía indicar más de 15 A en el medidor. Si el amperaje bajaba de este valor constantemente, comenzarían a buscar la causa. Los módulos estaban garantizados y serían cambiados gratuitamente si tuvieran alguna falla durante los primeros 10 años de servicio.

Con las principales compras hechas, la familia Acosta estaban listos para instalar el sistema. Estudiaron los códigos eléctricos locales de cableado, aterramiento y desconexión de las fuentes de alimentación. También visitaron un almacén local de suministro eléctricos y pidieron recomendaciones sobre los tipos de cables y las técnicas

de instalación. Luego fueron al sitio de instalación y marcaron la ubicación del arreglo y la trayectoria de los cables hasta el centro de control. Estaban entusiasmados y ansiosos de tener el sistema en funcionamiento.

5.8 INDICADOR HÍBRIDO

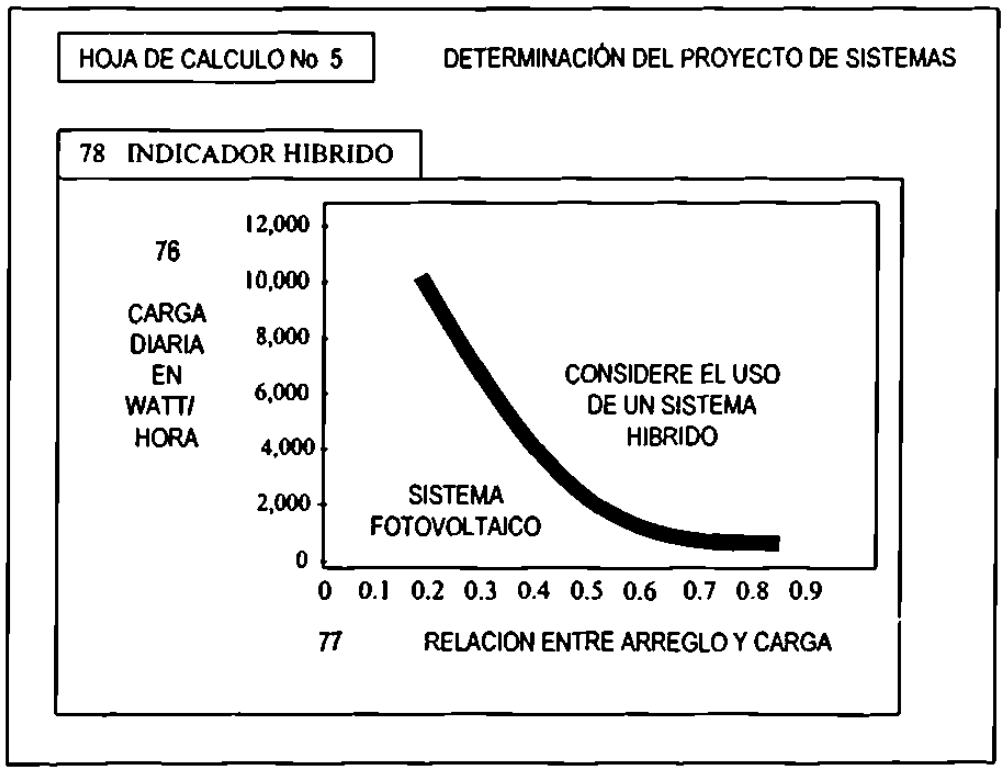
¿Cuándo debo considerar la posibilidad de usar un generador en mi sistema fotovoltaico?

5.8.1 RELACION DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO A LA CARGA

Al llegar a este punto, usted ha determinado la configuración y capacidad del sistema básico. Antes de proceder a especificar los componentes del sistema, se recomienda hacer una prueba sencilla para determinar si podría usarse un sistema híbrido. La combinación de dos factores principales le indicará si es posible optar por un método híbrido: la magnitud de la demanda de carga y la variabilidad de insolación del sitio de instalación. Estos dos factores se han combinado en un gráfico en la hoja de cálculo #5 (que se reproduce abajo), que muestra la carga (Wh) en función de la relación entre la capacidad y la carga del arreglo (Wp/Wh). Mientras mayor sea la carga, será más probable que un sistema híbrido (fotovoltaico con generador) sea económicamente ventajoso. Igualmente, en tiempo nebuloso, usted necesitará una batería de más capacidad y más módulos, lo que resultará en una relación capacidad / carga mayor. El gráfico de la carga en función de la relación capacidad / carga indica si se debe considerar un sistema híbrido. Si el punto de intersección queda arriba de la parte gris de la curva, el proyectista debe recomendar la instalación de un sistema híbrido para poder hacer comparaciones de costo con el diseño que requiere solamente energía fotovoltaica.

Pueden haber otras razones para considerar un sistema híbrido. Por ejemplo, los sistemas con requisitos de alta disponibilidad, o instalaciones donde la alimentación de la carga la suministra un generador existente. Las hojas de cálculo para sistemas híbridos, que se incluyen en el Apéndice B, se pueden usar para determinar la capacidad de un sistema híbrido con generador y paneles fotovoltaicos, si se desea instalar uno.

Una advertencia: los controles necesarios para un sistema híbrido son más complejos por que se necesitan para regular la interacción entre el motogenerador, el arreglo fotovoltaico y la batería. Se recomienda obtener asesoramiento de un diseñador si se decide instalar un sistema híbrido.



5.9 CONTROLADORES

¿Necesito un controlador?
¿Qué características se requieren?
¿Dónde debe ser instalado?

5.9.1 ESPECIFICACIONES

Los controladores de recarga se incluyen en la mayoría de los sistemas fotovoltaicos para proteger las baterías contra sobrecargas y descargas excesivas. Los controladores efectúan esta función desconectando el arreglo cuando la batería está completamente cargada, y desconectando la carga de artefactos eléctricos cuando la batería está descargada debajo de un nivel recomendado. Sin embargo, no es fácil determinar el estado de carga de una batería. Los parámetros que se pueden medir, tales como tensión y temperatura de la batería, no son indicadores precisos del estado de carga bajo todas las condiciones. Además, la rutina de carga no es la misma para todas las baterías. Un controlador de carga diseñado para una batería sellada de plomo-calcio puede no cargar en forma óptima una batería de plomo-antimonio, y los controladores diseñados para vertías de plomo-ácido no se deben usar para controlar baterías de níquel-cadmio. Por lo tanto, cuando se compra un controlador, es importante que el suministrador sepa qué tipo de batería se va usar y cómo espera usted que funcione su sistema. Lo primero que se debe determinar es la tensión y corriente de operación que debe soportar el controlador. Los controladores para sistemas de 12 y 24 volts, con corrientes de hasta 30 amperes, se obtienen fácilmente a un costo razonable. Algunos de los otros parámetros de un controlador que se pueden especificar se indican en la hoja incluida en el Apéndice B, parte de la cual se muestra aquí. Seleccione un controlador con el número mínimo requerido de funciones necesarias. Las funciones innecesarias aumentan la complejidad del sistema y disminuyen su confiabilidad.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADO

	A1 Corriente de cortocircuito del arreglo (A) 62	A2 Corriente mínima del controlador (A)	A3 Capacidad del controlador (lado del arreglo) (A)
1.25	X 20	= 25	÷ 30

A5 CONTROLADOR

Tipo / descripción _____
Tensión del sistema ___12_____
Características
Compensación de temperatura
Protección de corriente inversa ___
Puntos de control ajustables ___
Desconexión de alta tensión ___
Reconexión de alta tensión ___

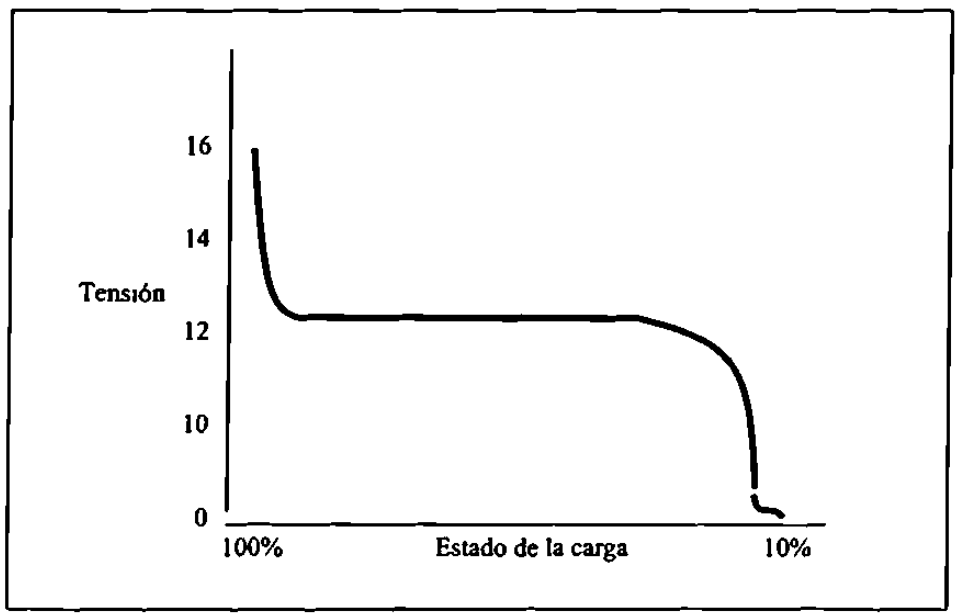
Los controladores de carga son componentes críticos en los sistemas fotovoltaicos independientes porque la falla de un controlador puede causar daños a las baterías o a la carga de artefactos eléctricos. El controlador debe tener suficiente capacidad para controlar la máxima corriente producida por el arreglo fotovoltaico. Multiplique la corriente de cortocircuito del arreglo por 1.25 para acomodar los cortos períodos de alta irradiación. La mayoría de los controladores pueden soportar las altas corrientes producidas por el aumento de irradiancia que a veces producen las nubes durante cortos períodos de tiempo. Este valor máximo de corriente y la tensión del sistema constituyen el mínimo número de parámetros necesarios para especificar un controlador. Otras características comunes de estos dispositivos son:

- Puntos de control ajustables para :
  - Desconexión de alta tensión
  - Desconexión de baja tensión
- Compensación de temperatura

- Alarma de baja tensión
- Protección contra el flujo inverso de corriente
- Funcionamiento en el punto de potencia máxima
- Instrumentos indicadores

Los datos de fábrica deben estudiar detenidamente para seleccionar un inversor que satisfaga los requisitos y proporcione las funciones deseadas.

En la figura No. 14 se muestra una curva de estado de carga de una batería. Se puede observar que la tensión cambia lentamente desde un estado de carga de una batería. Se puede observar que la tensión cambia lentamente desde un estado de carga del 80% hasta un 30%. Si la descarga de la batería se debe limitar a un nivel preciso de 40%, por ejemplo, es difícil seleccionar un solo valor de tensión que represente este estado de carga para todas las condiciones de temperatura, velocidad de descarga, etc. Algunos controladores contienen un detector de temperatura que se puede usar para medir la temperatura de la batería. Con la temperatura y la tensión se puede obtener una mejor estimación del estado de carga de la batería.



CURVAS DEL ESTADO DE CARGA DE UNA BATERÍA TIPICA DE 12 V

FIGURA No. 13

Algunos controladores permiten que el usuario ajuste la tensión de desconexión de la carga o del arreglo fotovoltaico. Esto permite que el usuario pueda "ajustar" los dos puntos de desconexión de acuerdo con las condiciones de funcionamiento específicas para el sitio de instalación. El ajuste debe hacerse cuidadosamente. Si los puntos de conexión quedan muy ceca entre uno y otro, puede hacer un ciclaje repetitivo. Esto sucede porque, cuando la carga se desconecta, la tensión de la batería sube rápidamente de 15 a 20%. El controlador detecta el aumento de tensión y reconecta la carga. La tensión cae y el ciclo se repite. Por ésta y otras razones similares, algunos fabricantes no permiten el ajuste de los puntos de desconexión del controlador en el sitio de instalación.

En la mayoría de los controladores se incluye un mecanismo que evita el flujo de corriente desde la batería hasta el arreglo durante la noche.

Muchos controladores están provistos de protección por desconexión si la tensión es demasiado baja. En el caso de baterías industriales de gran capacidad y de ciclo profundo, o baterías del tipo NiCd, esta protección puede ser innecesaria. Sin embargo, si la capacidad de la batería es pequeña en comparación con la carga, se debe incluir un dispositivo de protección para poder conmutar cargas temporales, encender luces o activar zumbadores para avisar al usuario que la acción es necesaria, o bien para activar una fuente de alimentación de reserva.

La función de desconexión de la carga requiere componentes más caros si las corrientes son mayores de 30 A. Los controladores se pueden conectar en paralelo para funcionar con arreglos de alto consumo de corriente. Muchas veces resulta más económico usar tres controladores de 20 A en paralelo que una unidad de 60 A. El arreglo se debe dividir eléctricamente y cada controlador debe tener sus propios cables, con las salidas de estos equipos interconectadas antes de pasar a la batería. Si los controladores se conectan en paralelo, los puntos de desconexión se deben ajustar a niveles ligeramente diferentes. Así se permitirá que toda la corriente del arreglo cargue

las baterías hasta cierto punto, en cuyo caso un controlador se apagará y el otro o los otros controladores continuarán con una corriente más baja hasta completar la carga de la batería.

- Mantener simple todo el sistemas.
- Las funciones adicionales reducen la confiabilidad.
- Es virtualmente imposible determinar el estado de carga de la batería bajo todas las condiciones, pero la tensión dela batería se usa comúnmente como indicador.
- Muchos controladores detectan la baja de tensión de la batería y apagan la carga o alertan al usuario.

5.9.2 TIPO

En los sistemas generadores fotovoltaicos generalmente se incorporan controladores de una sola etapa o de etapas múltiples. Los controladores de etapa sencilla desconectan la batería cuando la tensión llega hasta un nivel predeterminado. Los controladores de etapas múltiples permiten diferentes corrientes de carga, dependiendo del estado de carga de la batería. El tipo de controlador más común es una unidad de dos etapas que permite que toda la corriente del arreglo cargue la batería hasta alcanzar cierto nivel de tensión. Entonces la unidad se pone automáticamente en derivación o desconectar la mayor parte de la corriente, dejando pasar una pequeña cantidad para mantener la batería completamente cargada. Así se aumenta el rendimiento de la carga de la batería y se prolonga la duración de ella.

Se están desarrollando otros métodos, todos con el objetivo de controlar el arreglo y la carga en forma óptima y proteger la batería. A medida que aumenta el tamaño y la complejidad del sistema, la necesidad de obtener consejos de los expertos en controladores se hacen cada vez mayores. Consulte al proveedor de baterías sobre los controladores de carga y las características que deben tener. La mayoría de los proveedores de componentes para equipos solares venden tanto baterías como

controladores de carga y deben conocer la mejor forma de combinar componentes para obtener un desempeño óptimo o satisfactorio.

- Más sistemas han tenido problemas causados por un sistema de control deficiente que por cualquier otra causa.

5.9.3 INSTALACIÓN

El controlador siempre se debe instalar en la caja de empalmes ubicada en el centro de control de motores, junto con otros componentes como diodos, fusibles e interruptores. Estos componentes siempre se deben encerrar y proteger contra las inclemencias del clima. El calor excesivo causará fallas en los controladores, por lo cual la caja de conexiones se debe instalar en un especio sombreado y, si es posible, con bastante ventilación ambiental. **Los controladores no deben instalar junto con las baterías en una misma caja**. Las baterías crean un ambiente corrosivo que es dañino para lso componentes electrónicos.

5.10 INVERSORES Y TRANSFORMADORES

¿Qué características deben tener?

¿Necesito un inversor con salida de onda sinusoidal?

¿Dónde debo instalar el acondicionador de potencia?

5.10.1 HOJA DE ESPECIFICACIONES

Las unidades acondicionadoras de potencia, llamadas comúnmente inversores, son necesarias en cualquier sistema fotovoltaico independiente que debe alimentar cargas de aparatos eléctricos de corriente alterna. Los parámetros del inversor pueden ser anotados en la hoja de especificaciones ilustrada en el Apéndice B, también contiene la especificación de un conversor de corriente continua a corriente continua, por si fuera necesario para alimentar cargas de artefactos eléctricos que funcionen en distintas tensiones.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LAS UNIDADES DE REGULACION

INVERSOR

REQUISITOS DEL SISTEMA

B1	Forma de onda Sinusoide modificada	
B2	Tensión de c.c. del sistema	24 (V)
B3	Tensión de c.a. del sistema	220 (V)
B4	Capacidad de sobre potencia transitorias	15,000 (W)
B5	Potencia total de c.a. en venta	5,000 (W)
B6	Carga máxima sencilla de c.a.	*1,980 (W)
B7	Carga simultánea máxima de c.a.	3,222 (W)
B8	Duración de funcionamiento del inversor Con la carga simultánea máxima	45 (MIN)
B9	Régimen de servicio continuo del inversor	2,500 (W)
B10	Rendimiento requerido del inversor bajo carga	80 (%)

La selección del inversor influirá en el rendimiento, confiabilidad y costo de un sistema fotovoltaico. Generalmente, es el tercer componente más costoso, después del arreglo y la batería. Para poder especificar un inversor correctamente, es necesario indicar el rendimiento tanto de la entrada de corriente continua como de la salida de corriente alterna. Se deben considerar todos los requisitos que la carga de corriente alterna imponga sobre el inversor, no sólo la potencia pero también las variaciones de la tensión, frecuencia y forma de onda que se puedan tolerar. Para el lado de entrada se debe especificar la tensión de corriente continua, capacidad de sobretensión y una variación de tensión aceptable. Algunas de las características que se deben considerar son las siguientes:

- Perfil de onda de salida del inversor.
- Rendimiento de la conversión de potencia
- Régimen de potencia
- Régimen de funcionamiento
- Tensión de entrada
- Regulación de tensión
- Protección contra sobretensión
- Frecuencia
- Modularidad
- Factor de potencia
- Corriente de reposo
- Tamaño y peso
- Ruido de audio y radiofrecuencia
- Instrumentos de medición e interruptores

Otras características que poseen algunos inversores son:

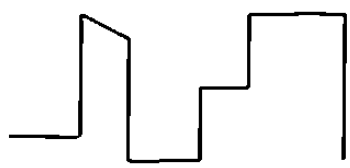
- Capacidad de recargar la batería
- Funcionamiento por control remoto
- Interruptor de transferencia de carga externa
- Capacidad de funcionamiento en paralelo

5.10.2. CARACTERÍSTICAS

Los inversores comunes de sistemas independientes funcionan en 12, 24, 48, ó 120 V de corriente continua, con salida de 110 ó 220 V corriente alterna a 50 ó 60 Hz. La selección de la tensión de entrada del acondicionador de potencia es muy importante porque a menudo determina la tensión de corriente continua del sistema.

El perfil de onda de salida es una indicación del costo y la calidad del inversor. Los inversores generalmente se clasifican de acuerdo al tipo de perfil de onda que producen. Los tres perfiles de onda más comunes son:

1. Cuadrada



2. Sinusoidal modificada

3. Sinusoidal

La forma de onda de salida depende del método de conversión usando y de la cantidad de filtraje para suavizarla, así como la forma de eliminar las frecuencias indeseadas y las perturbaciones transitorias que ocurren durante la conmutación.

Los inversores de onda cuadrada proporcionan una salida conmutada de corriente alterna, un rendimiento que sobrepasa escasamente el 90%, una distorsión armónica considerable y muy poca regulación de la tensión de salida. Estos inversores son los menos costosos y pueden ser usados con cargas resistivas y lámparas incandescentes. Los inversores de onda sinusoidal modificada proveen buena regulación de tensión para cualquier carga porque varían la duración del ancho del pulso en su salida. El rendimiento puede alcanzar el 90%. Este tipo de inversor es apropiado para alimentar una amplia variedad de cargas, tales como lámparas, equipos electrónicos y la mayoría de los tipos de motores. Sin embargo, su rendimiento con cargas de motores es menos eficiente que el de un inversor de onda sinusoidal, porque la energía de las ondas armónicas se disipa en los devanados del motor. Los inversores de onda sinusoidal producen una forma de onda de corriente alterna tan buena como la de la mayoría de las empresas de servicios públicos. Estos inversores pueden alimentar cualquier aparato o motor eléctrico de corriente alterna, dentro de su capacidad de potencia. En general, cualquier inversor debe tener un exceso de capacidad no menor de 25 % para aumentar su confiabilidad y vida útil.

Las especificaciones de fábrica de muchos inversores contienen algunos de los siguientes parámetros:

- **RENDIMIENTO DE LA CONVERSIÓN DE POTENCIA** – Este valor es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. El rendimiento de los inversores para sistemas independientes variará en alto grado según el tipo y la demanda de carga de aparatos eléctricos. Es difícil medir la potencia de una salida no sinusoidal debido al gran número de armónicas presentes. **No confíe en los folletos de inversores que anuncian rendimientos**

de más del 90%. Los valores que aparecen en las especificaciones de fábrica son los máximos que se pueden esperar en condiciones ideales. Sin embargo, cuando se alimentan ciertos tipos de motores, el rendimiento real puede ser menor del 50%.

- **REGIMEN DE POTENCIA** Este valor indica el número de watts que el inversor puede suministrar continuamente. Seleccione un inversor que pueda proporcionar no menos del 125% de la demanda máxima de carga (Casilla 11B de la hoja de cálculo No. 1) para dejar un margen en caso que aumente la demanda en el futuro.

- **REGIMEN DE FUNCIONAMIENTO** – Es el período de tiempo que el inversor puede alimentar la máxima carga de aparatos eléctricos. Algunos inversores sólo pueden funcionar a máxima carga durante un corto tiempo sin sobrecalentarse. Si el sobrecalentamiento dura más tiempo, puede causar la falla del equipo. Esta es otra razón para comprar un inversor con exceso de capacidad, por ejemplo, 2.5 kW para una carga de 2.0 kW.

- **TENSIÓN DE ENTRADA** – Es la tensión determinada por la potencia total que requieren todas las cargas de aparatos de corriente alterna y la tensión de las cargas de corriente alterna y la tensión de las cargas de corriente continua. Generalmente, se usa un inversor con una tensión de funcionamiento más alta para las cargas mayores. Así mantiene la corriente a niveles apropiados para que los interruptores y otros componentes sean fáciles de obtener.

- **CAPACIDAD DE SOBRETENSION TRANSITORIA** . La mayoría de los inversores pueden exceder su potencia de régimen durante cortos periodos de tiempo (segundos). Deben determinarse o medirse los requisitos de sobrecorriente de ciertas cargas de aparatos eléctricos. Algunos transformadores y motores de corriente alterna requieren una corriente de arranque puede ser necesaria durante varios segundos.

- **CORRIENTE DE REPOSO** - Esta es la cantidad de corriente (potencia) que consume el inversor mientras está en reposo (ninguna carga está activa). Este es un parámetro importante si el inversor se va a dejar encendido durante largos períodos de tiempo para alimentar cargas pequeñas.

- **REGULACIÓN DE TENSIÓN** - Indica las variaciones de la tensión de salida. Los mejores inversores suministran un valor de tensión eficaz (RMS) casi constante para una gran variedad de niveles de carga.

- **PROTECCIÓN DE TENSIÓN** – El inversor se puede dañar si se exceden los niveles de tensión de entrada de corriente continua. Recuerde que la tensión de una batería puede exceder considerablemente su valor nominal si la batería está sobrecargada. Una batería de 12 V puede alcanzar hasta 16 V o más, y esto puede dañar algunos inversores. Muchos inversores están provistos de circuitos protectores que desconectan el inversor de la batería si se sobrepasan ciertos límites especificadas de tensión.

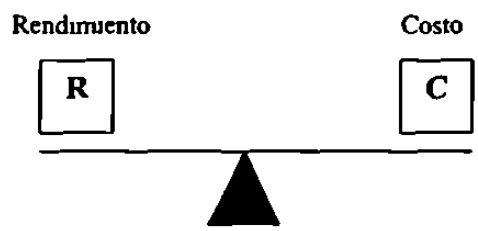
- **FRECUENCIA** – La mayoría de las cargas de aparatos eléctricos en la América Latina funcionan con corriente de 50 Hz. Los equipos de alta calidad de esta clase requieren una regulación de frecuencia precisa. Cualquier variación puede ser la causa de un mal funcionamiento de relojes u otros dispositivos electrónicos con control de tiempo.

- **MODULARIDAD** – En ciertos sistemas es ventajoso usar inversores múltiples. Estos inversores pueden ser conectados en paralelo o usados para alimentar diferentes tipos de cargas de aparatos eléctricos. La conmutación manual de la carga a veces se agrega para permitir que un inversor pueda alimentar algunas cargas críticas en caso de falla de otro inversor. Esta redundancia aumenta la confiabilidad del sistema.

- **FACTORES DE POTENCIA** Es el coseno del ángulo entre los perfiles de onda de la tensión y de la corriente producidas por un inversor. Para cargas resistivas, el factor de potencia será 1.0, pero para cargas inductivas, que son las cargas más comunes en los sistemas residenciales, el factor de potencia bajará a veces hasta 0.5. Las unidades d mejor calidad tienen circuitos diseñados para compensar las cargas inductivas y mantener el factor de potencia cerca de 1.0, lo que transfiere la potencia máxima a la carga.

- Algunos aparatos eléctricos no funcionan bien con una tensión de entrada de onda cuadrada.

- El rendimiento de los inversores puede ser menos del 50% del valor especificado cuando se usan con ciertas cargas.



- Proteja el inversor con fusibles en la entrada y en la salida.

5.10.3 INSTALACIÓN

El inversor se debe instalar en un ambiente controlado porque las altas temperaturas y el polvo excesivo reducirán su vida útil y podrán causar fallas. El inversor no debe ser instalado en el mismo panel o gabinete de las baterías, porque los gases que desprenden las baterías son corrosivos y pueden dañar los circuitos electrónicos. Además, la conmutación en el inversor puede producir chispas que podrían causar una explosión. Sin embargo, el inversor se debe instalar cerca de las baterías para mantener en un mínimo las pérdidas resistivas causadas por los cables. Después de la conversión a corriente alterna se puede reducir el calibre de los conductores porque la tensión de corriente alterna es generalmente más alta que la de corriente continua. Esto significa que la corriente de c.a. es más baja que la corriente continua para una carga de potencia equivalente. Se deben seguir todos los procedimientos de instalación especificados en los códigos eléctricos pertinentes.

Tanto la entrada como la salida del inversor deben estar protegidas con fusibles o disyuntores. Estos dispositivos de seguridad deben ser fácil acceso y estar marcados claramente. En la mayoría de los casos se recomienda el uso de un dispositivo de protección contra sobretensiones en la entrada del inversor para proporcionar protección contra rayos. Un dispositivo tal como un movistor envía 2 tierra las corrientes causadas por sobretensión. Si cae un rayo cerca del inversor se podría destruir el movistor, pero en cambio se protegería el inversor, con el consiguiente ahorro de grandes gastos de reparaciones.

5.10.4 EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta seleccionara un inversor de 2.5 kW para funcionamiento a 24 V c.c., con salida de onda sinusoidal de 120 V c.a. Esta unidad sería adecuada para suministra la carga de 1,800 W que necesitan los aparatos eléctricos domésticos, porque la familia estaba preocupada pues no sabía si el inversor tenía suficiente capacidad para que la bomba de agua y la lavadora funcionaran simultáneamente. Este problema se

podría evitar si se instalara un tanque de almacenaje de agua en la loma detrás de la casa para alimentar por gravedad el sistema doméstico de agua. Este tanque les daría independencia del sistema durante varios días de nebulosidad y podrían usar el inversor para llenar el tanque cuando bajara la demanda de las otras cargas de la casa. De esta forma, el inversor de 2.5 kW podría satisfacer toda la demanda necesaria. Antes de comprar el inversor, visitaron al distribuidor local y pidieron una demostración. La familia Acosta insistieron que el inversor fuera demostrado con cargas de motores, tales como un mezclador eléctrico. Además, ellos querían oír la unidad durante el funcionamiento y saber la cantidad de corriente usada por el inversor mientras está en reposo. Ellos estaban preocupados del nivel de ruido causado por el inversor porque planeaban instalarlo en la pared del taller del Sr. Acosta. Hicieron preguntas sobre las características técnicas de los inversores y pidieron información sobre la clase de servicio y la garantía de las unidades.

PREGUNTAS SOBRE EL INVERSOR:
¿Factor de potencia? ¿Forma de onda? ¿Rendimiento de régimen? ¿Capacidad de régimen? ¿Capacidad para soportar perturbación transitorias? ¿Protección de tensión? ¿Potencia de entrada? ¿Potencia de salida? ¿Características de seguridad? ¿Alarma en caso de falla? ¿Instrumentos de medición?

5.11 INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA

¿Dónde debo instalar los interruptores y fusibles?
¿Cómo debo seleccionar el tipo y calibre de los conductores?

Ahora que se ha determinado la capacidad y se ha seleccionado los principales componentes, es necesario considerar la forma de interconectarlos para forma un sistema funcional. El formulario que se muestra en esta página sirve para hacer una lista de los tipos y tamaños de cables, conectores y componentes de protección, tales como interruptores y fusibles, que duren 20 años o más. Para lograr esta larga vida, todos los componentes deben tener la capacidad correcta y ser instalados cuidadosamente. Consulte las instrucciones correspondientes sobre la forma de seleccionar los tipos y tamaños de cables. Obtenga una herramienta compresora de conectores de buena calidad y pídale consejos a algún electricista experimentado sobre la forma de hacer y proteger las conexiones. Recuerde que el rendimiento y confiabilidad del sistema depende de cada conexión.

- Use interruptores y fusibles para la seguridad de los componentes y del personal.

5.11.1 TIPOS Y CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

La correcta selección del tipo y calibre de los conductores y cables aumentará el rendimiento y la confiabilidad de todo el sistema fotovoltaico. El calibre del cable debe ser suficientemente grande para llevar la corriente anticipada sin pérdida excesivas. Todos los conductores presentan cierta resistencia al flujo de la corriente. Esta resistencia al flujo de la corriente. Esta resistencia produce una caída de tensión desde la fuente hasta la carga. Esta caída puede causar ineficiencias y hasta serias falla del

sistema, particularmente en los de baja tensión. En un sistema de 12 V, una caída de 1 V representa más del 8% de la tensión de la fuente de alimentación. Evite tener que usar cables muy largos. También es importantes reducir la capacidad de corriente de los conductores cuando las temperaturas son altas. Usted debe saber que aunque un cable sea apropiado para instalaciones de alta temperatura (60 - 90°C), esto no significa que la capacidad en amperios no sea afectada; sólo quiere decir que el aislamiento del conductor puede soportar temperatura de régimen. Debido a que los cables y las conexiones son tan importantes para una vida larga del sistema, se recomienda encarecidamente que el proyectista / instalador estudie los códigos y reglamentos eléctricos del país antes de proceder. Estos códigos usualmente contienen informaciones sobre los tipos y características de cables, métodos de cableado y factores de reducción de capacidad debido a la temperatura.

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE DIMENSIONES DE

Tendido de conductores	E1 Tensión del sistema (V)	E2 Corriente máxima (A)	E3 Longitud en un sentido (M)	
Circuito del arreglo				
Módulo a módulo	12	4	0.6	
Del arreglo al controlador o la batería	12	40	3.0	
Circuitos de c.c				
Batería a batería	12	---	0.6	
De batería a controlador a las cargas de c c	12	40	2.2	
Circuitos ramales				
A Transmisión	12	25	2.5	
B				
C				
D				

Existen muchos tipos de conductores y de aislamientos disponibles y la especificación del cable puede resultar confusa. Consulte aun electricista local o proveedor de cables y describa la forma y el sitio de instalación del cable. Pida recomendaciones. **Es obligatorio especificar cables resistentes a la luz del sol si se van a quedar expuestos.** Si el cable se va a enterrar sin estar dentro de tubería, debe tener una capa externa apropiada para un enterramiento directo. Pida recomendaciones al vendedor para aplicaciones tales como el cableado para una bomba sumergida y para interconexiones de baterías. Muchas veces el proveedor entrega el cable con los conectores apropiados. **Especifique un cable que queda soportar las peores condiciones del tiempo.** El pequeño gasto adicional en un cable de alta calidad es una buena inversión.

Las hojas de cálculo para determinar la capacidad de los cables del Apéndice B, sirven para especificar de manera uniforme el tamaño mínimo de cable para los diferentes subsistemas. También se incluyen cuatro tablas para circuitos de 12, 24, 48 y 120 V. Estas tablas indican el calibre mínimo de conductores que se debe usar para limitar la caída de tensión a 3% en cualquier de los circuitos. La Tabla 2 muestra una porción de la tabla para circuitos de 24 V. Los valores pueden ser ajustados mediante simples cálculos para reflejar diferentes porcentajes de caída de tensión. Por ejemplo, se puede calcular los valores para una tabla de 2 % multiplicando los valores de la tabla 2 por 2/3. Las tablas han sido calculadas para la longitud del cable en una dirección solamente, teniendo en cuenta que el circuito consiste en conductores positivos y negativos.

TABLA 2
PARTE DE LA TABLA DE 24 V
Distancia máxima del conductor en un 3% de caída de tensión Circuitos de 2

Calibre AWG Resistencia (Ω/m) Amp.	Watts	14 0.00828 Distancia	12 0.00521 Distancia
0 5	12	174	276
1	24	87	138
2	48	43	69
3	72	29	46
4	96	22	35
6	144	14	23
8	192	11	17
10	240	9	14
12	288	7	12
14	336	6	10

Como ejemplo, suponga que el arreglo fotovoltaico está a 10 metros de distancia del controlador y que la corriente máxima es de 10 A. La Tabla 2 indica que se puede usar un conductor de calibre AWG No. 8 hasta una distancia máxima de 13.5 metros en una (en una sola dirección). No se incluye ninguna reducción de capacidad debida a la temperatura. Se recomienda limitar 3 % la caída de tensión en cualquier circuito derivado. En muchos sistemas de baja tensión, la caída se debe mantener en menos de 1%. Para toda la longitud del cable en cualquier trayectoria desde la fuente hasta la carga, la pérdida no debe exceder 5%. Se recomienda usar conductores de cobre. Los conductores de aluminio son menos costosos, pero pueden causar problemas si se usan incorrectamente.* Los cables trenzados se usan generalmente en los circuitos de corriente continua porque son más flexibles y fáciles de usar que los cables de un solo conductor, particularmente en los tamaños más grandes. A continuación se describen algunos de los tipos de cables usados comúnmente en los Estados Unidos con las iniciales de cada tipo (vea el Glosario). Se deben usar estos cables u otros equivalentes.

- **ALIMENTAR SUBTERRÁNEO (UF)** – Se usa para interconexiones en el arreglo fotovoltaico si se especifica una cubierta externa resistente a los efectos de la luz del sol; se puede usar para interconectar el resto del sistema, pero no se recomienda usarlo dentro de las cajas de batería.

- **CANASTILLA DE CABLES (TC)** – Se puede usar para interconectar el resto del sistema.

- **ENTRADA DE SERVICIO SUBTERRÁNEA (USE)** Se puede usar para la interconexión del resto de los equipos y también dentro de las cajas de baterías.

- **TW / THHN** - Se usa para interconectar todos los demás componentes de un sistema fotovoltaico pero debe instalarse en conducto, ya sea enterrado o sobre la superficie. Es resistente a la humedad.

El uso de NMB (Romex) no se recomienda, excepto para circuito de corriente alterna en una instalación típica residencial. Aunque se puede obtener fácilmente, no resiste la humedad o la luz solar.

La capacidad total de conducción de corriente (ampacidad) de un cable depende de la temperatura y se debe aplicar un factor de reducción de capacidad a los cables que estén expuestos altas temperaturas. Por ejemplo, un cable tipo UF que funciona a 55°C puede conducir solamente el 40% de la corriente que puede llevar a 30°C. Si se excede la ampacidad del cable, podrá ocurrir sobrecalentamiento, falla del aislamiento y hasta un incendio. Consulte a un electricista acerca de los factores de reducción de capacidad para cables debido a la temperatura. Deben usarse fusibles de tamaño adecuado para proteger los conductores y evitar daño. El tamaño adecuado del conductor es particularmente importante en los sistemas de baja tensión y alta corriente, pero en cualquier sistema el proyectista debe tomar una decisión de transigir entre las pérdidas causadas por conductores de calibre pequeño y el costo de cables de mayor calibre.

- El Artículo 300 del código NEC contiene información acerca de los diversos tipos y calibres de conductores.
- Si es posible proteja los conductores contra el sol.
- Los fusibles sirven para proteger los conductores del sistema.
- Fusibles en línea.
- Se deben proteger los subsistemas contra la posible corriente elevada de la batería.

*A veces se especifican conductores de aluminio para aplicaciones que requieren largas longitudes de alambre, como en la sección desde el arreglo fotovoltaico hasta el controlador Si se usa aluminio, las terminaciones deben hacerse con conectores apropiados para uso con alambre de aluminio. Estos conectores van marcados con las iniciales AL. No deben empalmarse conductores de aluminio con otros de cobre

5.11.2 INTERRUPTORES Y FUSIBLES

Las hojas de especificaciones del Apéndice B se pueden usar para determinar la capacidad y mantener un registro de los interruptores y fusibles usados en el sistema. Se usan interruptores y fusibles para proteger a los equipos y al personal. Los interruptores permiten cortar manualmente el flujo de corriente en caso de una emergencia o para mantenimiento programado. Los fusibles proporcionan protección contra sobrecorriente en caso de un cortocircuito del sistema o de una falla a tierra. Los diodos se usan para controlar la dirección del flujo de la corriente en el sistema.

En los sistemas fotovoltaicos independientes se usan fusibles y disyuntores, o rompecircuitos, para limitar la corriente y evitar daños a las personas y los equipos. El proyectista se debe preguntar "¿Qué podría suceder?" y tratar de proteger el sistema contra todas las posibilidades razonables de falla. La mayor fuente de corriente del sistema es la batería.

Cualquier batería puede suministrar más de 6,000 amperes durante unos milisegundos, si ocurre una falla y se cortocircuita la batería. Este nivel de corriente puede destruir los componentes y lesionar a las personas, por lo que se debe usar un fusible en línea en todos los circuitos de batería. Los fusibles deben ser aprobados para funcionamiento con c.c. y tener una suficiente capacidad de interrupción para estos altos niveles de corriente. La corriente producida por el arreglo fotovoltaico es limitada, pero comúnmente se usa el valor de corriente de cortocircuito del arreglo (multiplicada por 1.25) para especificar la capacidad del fusible de acción lenta en el circuito de salida del arreglo. Si ocurriera una falla a tierra en el arreglo mientras el controlador estuviera conectado, este fusible protegería los módulos del arreglo contra la alta corriente de la batería. **Se debe usar un fusible o disyuntor en los circuitos de cargas para cada carga eléctrica importante.**

Los interruptores, fusibles, diodos de bloqueo, movistores y los detectores usados en la adquisición de datos se instalan generalmente en cajas de empalmes a prueba de la intemperie, instaladas en ubicaciones centrales. El controlador se instala generalmente en una misma caja, que se conoce muchas veces como el centro de control del sistema. Todos los conductores negativos se deben conectar a la barra negativa y esta barra se debe conectar a la terminal de tierra de la caja con un alambre de cobre macizo. (La terminal de tierra se conecta al electrodo común de tierra dl sistema).

Los conductores positivos se conectan generalmente a la barra positiva a través de un fusible y diodo de bloqueo. Se puede conectar un dispositivo contra sobretensiones, tal como in movistor, entre cada conducto positivo y tierra. (vea los diagramas de conexiones para los ejemplos de proyectos en este manual).

Todos los interruptores usados en circuitos de corriente continua deben ser diseñados específicamente para funcionamiento con corriente continua. Un interruptor de corriente alterna podrá funcionar algunas veces, pero posiblemente fallará cuando más se necesite. Un interruptor o disyuntor de corriente continua tiene capacidad para un

valor específico de tensión y corriente. Hay dos niveles de tensión y corriente. Hay dos niveles de tensión comunes: 250 V y 600V. Los regímenes de corriente de uso común son de 15, 30, 60, 100 y 200 A. El interruptor o disyuntor debe tener suficiente capacidad para soportar la máxima corriente posible. Este es el mismo nivel de corriente usados para especificar los fusibles y se debe seleccionar un interruptor que pueda desconectar la corriente del fusible con seguridad. En algunos casos es posible ahorrar dinero adquiriendo un interruptor de dos o tres polos en lugar de interruptores separados. Se pueden obtener interruptores de desconexión con fusibles y ambos dispositivos incorporados en la misma unidad, lo que reduce los costos de instalación. Finalmente, los disyuntores de corriente continua se pueden usar para reemplazar los interruptores con fusibles. Los interruptores de este tipo son más difíciles de encontrar, pero son los preferidos por muchos proyectistas de sistemas por su alta confiabilidad.

5.11.3 CONEXIONES

Las conexiones mal hechas son la causa más común de problemas en los arreglos fotovoltaicos independientes. Para hacer una buena conexión se requiere mucha atención a los detalles, pero el trabajo resulta fácil si se usan las herramientas y conectores apropiados. Proceda en la siguiente forma:

- Use conectores. No trate de enrollar un conductor desnudo sobre una terminal. Recuerde que la conexión debe durar más de 20 años. Asegúrese que el tamaño del conector y el calibre del conductor sean compatibles.

- Quite unos 10 a 13 mm de aislamiento del conductor y asegúrese que el alambre esté bien limpio. Si es necesario, límpielo con un disolvente.

- Use una herramienta plegadora de presión de buena calidad y con reductor para fijar el conector al conductor. El conector del tipo de anillo es superior al de espada porque no se sale de la terminal.

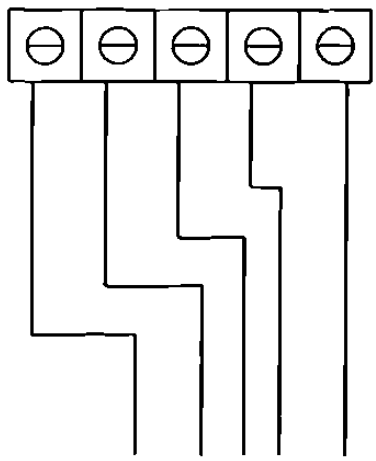
- Suelde la conexión plegada y revísela cuidadosamente. Esta conexión es de particular importancia si la instalación se hace en un ambiente marino expuesto a la intemperie. Sin embargo, la soldadura hace que el conductor se rompe con más facilidad si se dobla repetidamente cerca de la conexión.

- Use cajas resistentes a la intemperie para hacer las conexiones entre los subsistemas. No trate de hacer más de dos conexiones en una misma terminal. Asegúrese que los conductores y terminales estén limpios y que sean del mismo tipo de metal. Se deben usar conectores de tornillo ranurado en lugar de tiras de terminales si el calibre es mayor de tamaño AWG No. 8. Las conexiones se deben hacer en una caja de emplames para mayor protección. Si no es necesario desarmarlas, las conexiones también se pueden soldar.

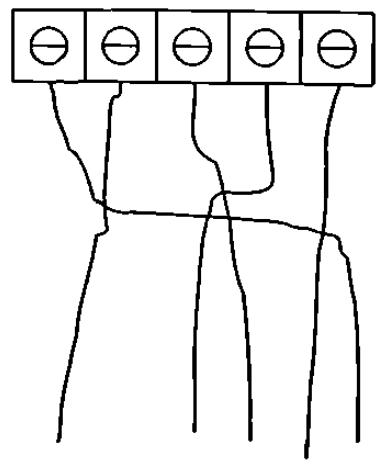
- Deje una longitud adecuada de conductores a la entrada y salida de las cajas. Use cajas con entradas provistas con dispositivos que eviten el esfuerzo en el cable y apriete todas las abrazaderas firmemente alrededor de los cables. Después de hacer las conexiones, verifique que los cables no estén sujetos a esfuerzos físicos.

- Después de la instalación, haga una prueba completa. Inspeccione todas las conexiones para ver que estén bien firmes. Observe los lugares donde las conexiones o conductores desnudos pueden entrar en contacto con la caja de metal o con otros dispositivos metálicos. Asegúrese que todos los conductores conectados a la tira terminal estén bien alineados y no se entrecrucen cerca de la tira. Inspeccione los puntos de entrada y salida para ver si hay cortes u otros daños en el aislamiento de los conductores.

ASI



ASI NO



Proteja todos las conexiones. Más fallas de sistemas se deben a malas conexiones que a fallas de los componentes.

5.12. INSTALACIÓN DEL SISTEMA

¿Cómo se debe conectar a tierra el conjunto fotovoltaico?
¿Qué se debe hacer para proteger el conjunto contra el viento y los rayos?
¿Qué clase de cajas o compartimientos se debe usar para las baterías?

Los sistemas fotovoltaicos independientes podrán producir energía en forma confiable durante más de 20 años si se calculan con la capacidad adecuada, se diseñan correctamente y se instalan con todo cuidado. Todas las conexiones eléctricas se deben hacer de acuerdo con los códigos aplicables del país.

5.12.1. ARREGLOS FOTOVOLTAICOS

Los arreglos fotovoltaicos independientes se instalan en muchas formas únicas y novedosas, pero hay aspectos comunes que se deben considerar, no importa si el arreglo es fijo o de seguimiento solar, y si está montado sobre el terreno o sobre un poste o edificio. Los aspectos del ángulo de inclinación y de la orientación se presenta en la página 40, en la sección sobre arreglos fotovoltaicos.

El objetivo es obtener un arreglo fotovoltaico sólidamente instalado que dure muchos años y resista todas las condiciones climáticas. Si decide comprar o construir la estructura de montaje, verifique que los módulos estén firmemente anclados y asegurados. Muchas fábricas de módulos venden herrajes de montaje diseñados específicamente para sus productos. Estos herrajes se diseñan para aplicaciones múltiples y tienen diferentes técnicas de montaje y consideraciones, tales como la fuerza causada por el viento, que se han incluido en el diseño. Con estos herrajes la instalación de los módulos resulta más fácil y muchas veces es más económicas. Las instalaciones especiales pueden ser muy costosas. Considere lo siguiente:

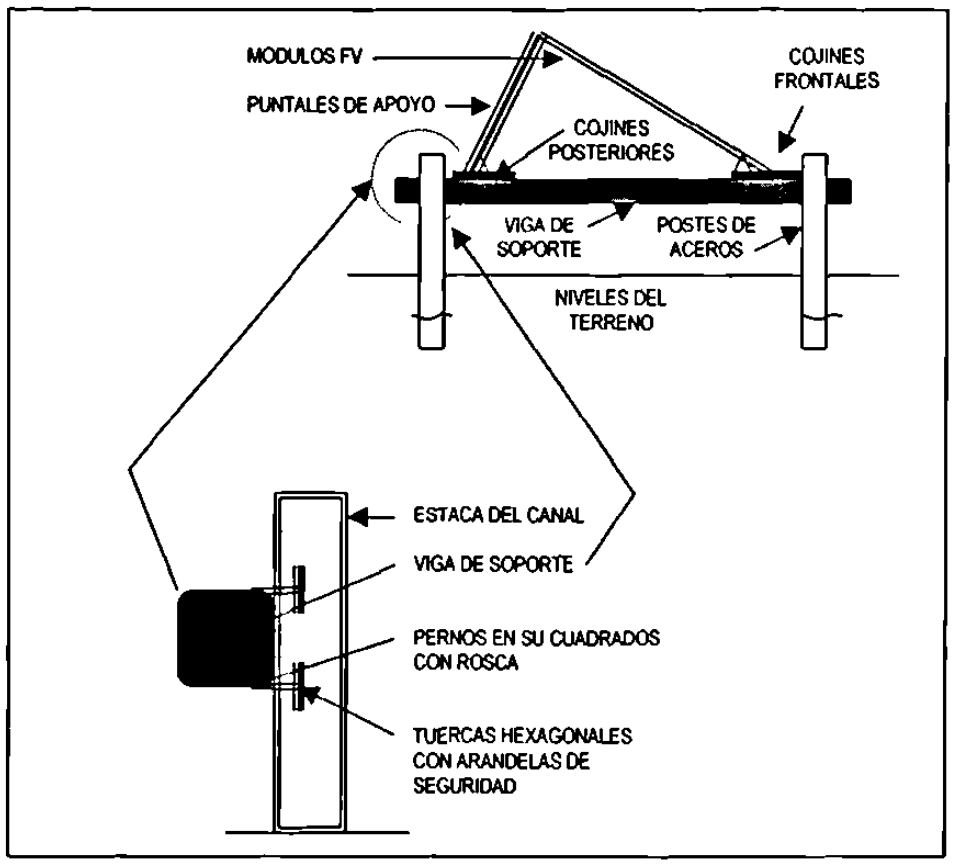
- ALUMINIO – Es liviano, fuerte y resiste a la corrosión. Las piezas angulares de aluminio son fáciles de usar y de taladrar con herramientas comúnmente disponibles. Además, este material es compatible con los bastidores de muchos módulos fotovoltaicos. El aluminio no es fácil de soldar.

- PIEZAS ANGULARES DE HIERRO – Son fáciles de usar, pero se corroen rápidamente. La galvanización protege contra la corrosión, pero las ménsulas y los tornillos siempre sufrirán corrosión particularmente en un clima húmedo. Este material es de fácil adquisición y las ménsulas se pueden soldar fácilmente.

- ACERO INOXIDABLE – Es costoso y difícil de usar, pero podrá durar por décadas. Este material podrá ser una buena inversión en las regiones con ambiente salino.

- MADERA – Es económica, y de fácil adquisición y uso pero puede ser que no dure 20 años. Los módulos requieren el uso de travesaños o abrazaderas para la instalación. La madera debe ser tratada con un producto de conservación.

En la figura No. 14 se muestra una técnica que se ha usado para montar arreglos pequeños en el terreno. Se puede usar aluminio o piezas angulares de acero galvanizado para las piezas de soporte y para la base se pueden enterrar postes el tipo que se usa en cercas de acero. La viga transversal principal se puede hacer de madera tratada para conservación, metal o concreto. Se pueden usar tornillos en forma de U galvanizados para montar las vigas transversales y variedad de ménsulas. Se deben usar tornillos y tuercas de acero inoxidable, porque no se oxidan y permiten sacar partes del arreglo si necesitan mantenimiento en el futuro. Las bases del arreglo se deben diseñar para resistir la fuerza del viento en la región de instalación. La fuerza del viento depende de la superficie que ocupa el arreglo y del ángulo de inclinación. Consulte al distribuidor local de módulos sobre la forma de anclar el arreglo para soportar los vientos en su área.

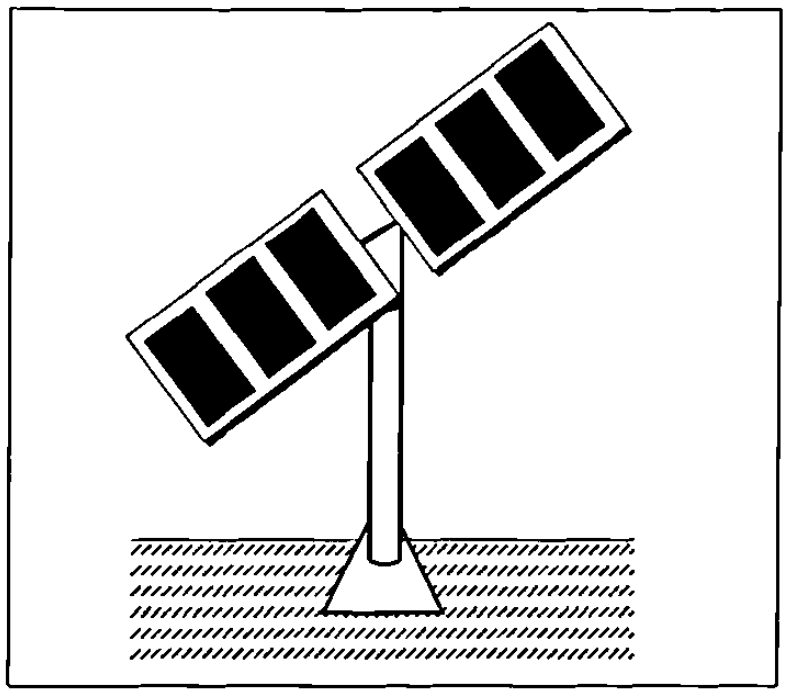


MONTAJE SENCILLO A NIVEL DEL TERRENO PARA ARREGLOS FOTOVOLTAICOS

FIGURA No. 14

No es necesario cambiar el ángulo de inclinación de un arreglo fotovoltaico para compensar los cambios situacionales de la posición del sol. En regiones situadas latitud medias, se estima que un cambio del ángulo de inclinación cada tres meses produciría un aumento de energía de menos del 5%. En la mayoría de las aplicaciones, el costo de mano de obra adicional y la complejidad de la estructura de montaje no compensan el pequeño aumento de energía que se obtiene.

Si se desea que el arreglo siga la trayectoria del sol, se recomienda usar unidades pasivas de seguimiento con in solo eje de rotación. Estas unidades no necesitan control o alimentación eléctrica. Vea la Figura No. 15. Las unidades pasivas de seguimiento usan un sistema cerrado de freón que le permite al arreglo seguir la posición del sol con una exactitud adecuada para módulos fotovoltaicos que no sean del tipo concentrador. Las unidades de seguimiento para pequeños sistemas fotovoltaicos independientes se instalan sobre postes y pueden sostener de 4 a 12 módulos. Las fábricas de estas unidades normalmente suministran todos los herrajes necesarios y las instrucciones para una instalación segura de la unidad. El tipo y tamaño de la base necesaria para la unidad de seguimiento montada sobre un poste depende del tamaño del arreglo a ser sostenido. Se recomienda usar concreto reforzado (hormigón armado) con pernos de anclaje. La base y la estructura de soporte se deben diseñar para resistir la mayor fuerza de viento que se pueda esperar en la región. El movimiento del arreglo fotovoltaico debe ser verificado para tener la certeza de que el trayecto esté libre de obstrucciones.

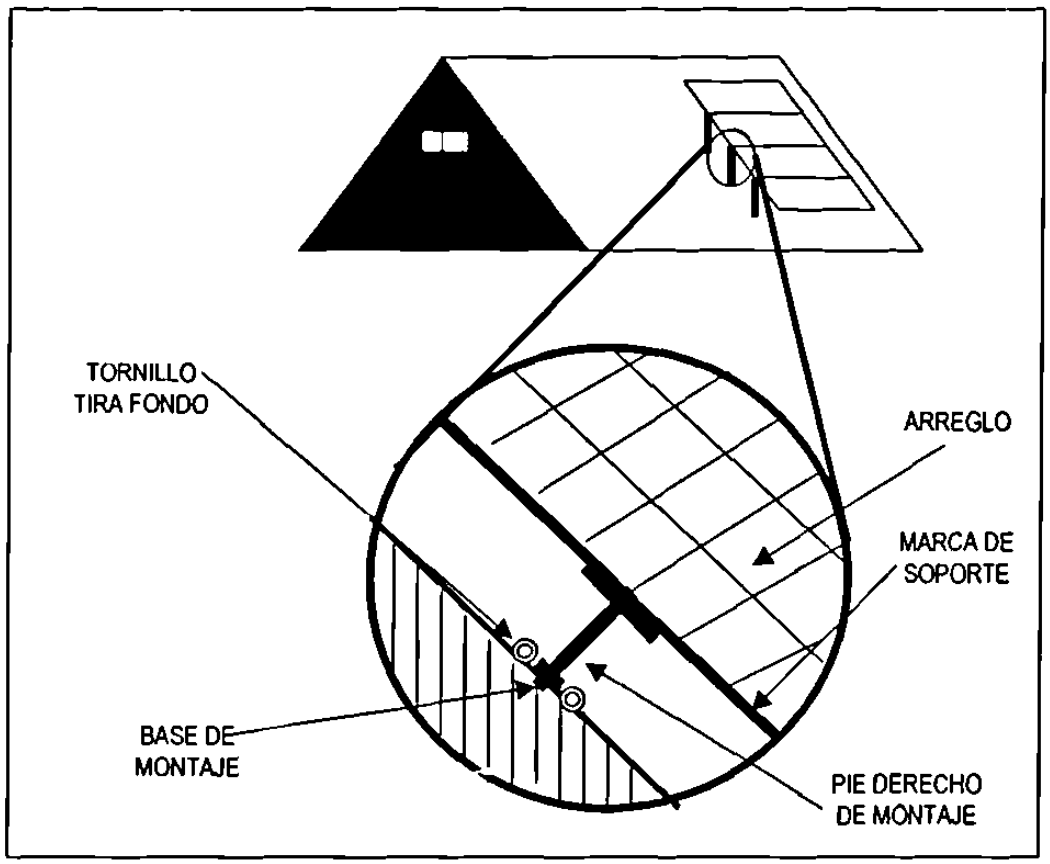


UNIDADES DE SEGUIMIENTO PASIVO PARA UN ARREGLO FOTOVOLTAICO
FIGURA No. 15

En general, se debe evitar el montaje de módulos fotovoltaicos sobre el techo, porque la instalación y el mantenimiento resultarían más difíciles , particularmente si la orientación y el ángulo del techo no son compatibles con el óptimo ángulo de inclinación del arreglo. También es muy importante que las ménsulas de montaje queden fijas en el techo en forma firme y segura. Sería mejor fijar las ménsulas a las vigas principales del techo, pero esto puede ser difícil porque generalmente no hay compatibilidad entre el tamaño de los nódulos y el espacio entre las vigas. Si hay acceso a la parte inferior del techo, se puede insertar bloques de 5 x 15 cm entre las vigas y fijar los módulos sobre los bloques. En regiones de vientos fuertes, el techo se puede dañar si el arreglo se soporta solamente de la madera contra chapada.

Si se desea hacer la instalación sobre le techo, debe mantenerse libre de obstrucciones el paso del aire por debajo del arreglo, como se muestra la Figura 16. El arreglo funcionará a menor temperatura y producirá más energía si queda a una distancia del techo no menor de 8 cms. **No se recomienda montar los módulos directamente a ras**

del techo, pues entonces los módulos serían más difíciles de probar y reemplazar, y se reduciría el rendimiento debido a la mayor temperatura de funcionamiento.



ARREGLO FOTOVOLTAICO DE MONTAJE EN EL TECHO.

FIGURA No. 16

- El tratar de ahorrar dinero en la instalación de los componentes del sistema es una falsa economía.
- Use materiales que duren más de 20años.
- El montaje de arreglos fotovoltaicos sobre el terreno es el método más fácil de instalación para sistemas fotovoltaicos independientes.
- Asegura el arreglo de manera que resista las peores tempestades de viento.

5.12.2 BATERIAS

Se deben proteger las baterías contra la intemperie. Si se anticipan temperaturas congelantes, las baterías se pueden enterrar en un compartimiento impermeable debajo de la línea de congelación, o instalar dentro de una estructura que quede por encima de la temperatura de congelación. Si se entierran las baterías, se debe seleccionar un sitio con buen drenaje y el compartimiento debe contar con un agujero de drenaje. Las baterías no se deben colocar directamente sobre concreto, ya que podrían descargarse si la superficie se humedece demasiado. Se debe proveer una ventilación adecuada para reducir los peligros de explosión si se usan baterías de electrólito líquido. Las baterías se deben instalar en lugares de acceso limitado a personas autorizadas. Nunca permita el acceso de niños o animales a las baterías, a menos que estén a menos que estén debidamente supervisados.

Se podrían adquirir compartimentos para baterías, pero generalmente son muy costosos. En sistemas pequeños se pueden usar cajas plásticas que sirvan como una alternativa. Asegúrese que puedan soportar la luz directa del sol s las baterías se van a instalar a la intemperie y arriba de la superficie del suelo.

- No instale las baterías sobre superficies frías y húmedas.

5.12.3. EQUIPOS ELECTRÓNICOS

Los controladores, conversores o inversores electrónicos se instalan muchas veces en centros de control junto con interruptores, fusibles y otros componentes del sistema. Los componentes electrónicos deben ser capaces de soportar los extremos de temperatura anticipados tanto en funcionamiento como cuando están inactivos. Todas las tarjetas de circuitos impresos de estas unidades deben estar recubiertas para proteger los circuitos electrónicos contra la humedad y e polvo. Se deben usar cajas aprobadas para servicio

eléctrico. Consulte alguna compañía de suministros electrónicos para obtener información sobre el tipo de caja necesario para una aplicación específica.

Las temperaturas muy elevadas acortan la vida útil de los equipos electrónicos. Trate de instalar las cajas en un área sombreada y/o bien, provea circulación del aire, particularmente para los inversores. El polvo es un problema en las áreas bien ventiladas. Algunas cajas tienen filtros contra el polvo en los puntos de acceso del aire. Si se usa este tipo de caja, los filtros se deben inspeccionar periódicamente y limpiar como sea necesario. Las entradas de aire de las cajas eléctricas deben estar provistas de rejillas para evitar la entrada de arañas, avispas y otros insectos que puedan hacer sus nidos dentro de estas cajas.

- Instale todos los conmutadores, fusibles, movistores y dispositivos electrónicos en una caja de conexiones protegida.

5.12.4 CONEXIÓN A TIERRA

Una buena conexión a tierra permitirá un trayecto bien definido, de baja resistencia, desde el sistema fotovoltaico independiente a tierra. Este trayecto deberá conducir la corriente de falla si ocurre un mal funcionamiento en el sistema. Se necesitan dos tipos de conexiones a tierra en todos sistemas fotovoltaico: conexión a tierra del sistema y conexión de los equipos. En la conexión a tierra del sistema, uno de los conductores usualmente el negativo – se conecta a tierra en un solo punto. Esta conexión establece la tensión máxima con respecto a tierra y también sirve para descargar las corrientes transitorias inducidas por los rayos. Cualquier metal expuesto que pueda ser tocada por el personal se debe conectar a tierra. Esto incluye las cajas de equipos y los marcos de los arreglos. Esto limitará el riesgo de choque eléctrico si ocurre una falla a tierra.

Una conexión de baja resistencia requiere un buen contacto con la verilla de tierra y el suelo mismo. El contacto con el agua subterránea ayuda a reducir la resistencia. Si el sistema estuviera sobre un suelo rocoso, resultaría ser más difícil lograr una buena conexión. Consulte a un electricista local para obtener sugerencias.

Un arreglo fotovoltaico puede atraer los rayos, especialmente si está ubicado a gran elevación con respecto al terreno que lo rodea. En particular, los sistemas de bombeo de agua podrán atraer los rayos debido al trayecto de baja resistencia que proveen el pozo y la tubería de revestimiento. Las corrientes transitorias pueden ser causadas por la descarga directa de un rayo o por el acoplamiento electromagnético de energía en los conductores del sistema. Se pueden tomar muy pocas medidas para proteger los equipos de un sistema fotovoltaico contra la descarga directa de un rayo. Las corrientes transitorias causadas por rayos cercanos ocurren con mayor frecuencia y la seriedad del daño depende de la distancia entre el rayo y el arreglo. Se recomienda emplear dispositivos de protección, como movistores, que son de precio razonable y se pueden adquirir comercialmente. Estos dispositivos se instalan generalmente en el lado de entrada de corriente continua de cualquier equipo electrónico. Si se usan un inversor los dispositivos de protección se deben instalar tanto en la salida de corriente alterna como en la entrada de corriente continua. La instalación de los cables en conductos metálicos subterráneos disminuirá la atracción a los rayos.

- Considere la posibilidad de colocar barras pararrayos sobre los arreglos fotovoltaicos instalados en un terreno elevado.

5.12.5 EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta se dieron cuenta que un sistema consiste en un arreglo de componentes interactivos, cuyo funcionamiento depende de la confiabilidad de cada componente. Supieron que la mayoría de las paralizaciones de servicio se deben más bien a fallas de interruptores, fusibles y conexiones que a fallas de los controladores, baterías o módulos. También supieron que la confiabilidad de un sistema depende, en gran parte, de buenas prácticas de instalación.

La familia Acosta tenía la intención de supervisar la instalación de su sistema, así que estudiaron los códigos y reglamentos para instalaciones eléctricas en su región y se pusieron en contacto con las autoridades locales para preguntar sobre los códigos aplicables. Tenían particular interés en materias de seguridad, cumplimiento con las normas eléctricas, conveniencia y facilidad de mantenimiento. Seleccionaron cuidadosamente el lugar de instalación del arreglo fotovoltaico, baterías y sistema de control.

Ellos planeaban instalar las baterías, inversor, el controlador y los interruptores de seguridad en un cuarto de 10 metros cuadrados de superficie ubicado al norte de la casa. La longitud del cable de las baterías al inversor era menos de 3 metros. El cuarto de control y batería estaría anexo a la casa pero sólo tendría acceso desde afuera por una puerta doble con cerradura. Se procuró que el cuarto aislado tuviera una buena ventilación de flujo cruzado.

La instalación del arreglo fotovoltaico se hizo de acuerdo con la simple técnica de montaje sobre el terreno descrita en este manual. La familia Acosta usaron una viga de pino de 10 x 10 cm con tornillos tirafondo para asegurar los marcos de los paneles. Los marcos, puntales y almohadillas de soporte se adquirieron de la misma fábrica que suministró los módulos. Por lo tanto, se pudo usar el cableado diseñado por la fábrica para la conexión eléctrica de los módulos. También usaron conductos eléctricos para todos los cables, con excepción del tendido entre el arreglo fotovoltaico y la batería. Se

usó cable de enterramiento directo, calibre AWG No. 6. Este calibre era mayor que el necesario, pero serviría para mantener la caída de tensión a un valor justamente sobre 1%. Con los componentes en mano y la planeación terminada, la familia comenzó la construcción de la obra.

- Todos los miembros de la familia aprendieron a manejar el sistema con seguridad y a desconectar la corriente del arreglo fotovoltaico.

5.13 MANTENIMIENTO

¿Qué grado de mantenimiento se requiere?
¿Necesito instrumentos especiales o adiestramiento técnico?

5.13.1 MANTENIMIENTO PERIODICO

La atención técnica preventiva es el mejor mantenimiento. Se recomienda una inspección periódica en todo sistema fotovoltaico independiente. Así se pueden descubrir y corregir problemas pequeños antes de que lleguen a afectar el funcionamiento del sistema. Debe hacer la inspección poco tiempo después de la instalación, cuando se presume que esté funcionando bien. Es posible hacer una gran parte de la inspección sólo con un voltímetro, un hidrómetro y un poco de sentido común. Se pueden evitar muchas fallas si se hacen inspecciones periódicas y se toman las medidas necesarias con anticipación. Haga las siguientes inspecciones en forma rutinaria.

- Vea que todas las conexiones del sistema estén bien firmes. Las conexiones de la batería deben ser limpiadas y tratadas periódicamente con un inhibidor de corrosión.

- Verifique el nivel del electrólito y añada agua limpia (destilada) como sea necesario. No llene demasiado las baterías. Mida la gravedad específica de cada celda de la batería todos los años. La gravedad específica es un indicador del estado de carga de la batería, pro las mediciones pueden causar indicaciones falsas si el electróito se ha estratificado. Si existe estratificación la batería se debe carga vigorosamente para mezclar el electrólito. Si la lectura de gravedad específica de cualquier celda difiere en más de 0.050 de las otras, indica que la

celda está débil. Observe el funcionamiento de esta celda para determinar si es necesario cambiar la batería.

- Con la batería bajo carga, mida la tensión de cada celda y compárela con la tensión media de todas las celdas. Si la tensión de cualquier celda del mismo sistema varía en más del 10% del valor medio, es posible que exista un problema. Consulte a la fábrica o al vendedor de la batería. Observe el funcionamiento de esta celda para determinar si es necesario cambiar la batería.

- Inspeccione el alambrado del sistema. Si el alambrado está al descubierto, observe si se ha dañado o roto el aislamiento. Inspeccione los puntos de entrada y salida de todas las cajas de empalme y vea si el aislamiento de los cables tiene rupturas o rajaduras. Cambie los cables si es necesario. No confié en la cinta aisladora eléctrica común de color negro para una reparación duradera de un aislamiento dañado.

- Verifique que todas las cajas de empalmes y conexiones estén cerradas ~~y~~ selladas. Vea si hay daños causados por el agua o la corrosión. Si hay componentes electrónicas instalados en cajas de empalme, verifique la ventilación en la caja. Cambie o limpie los filtros de aire.

- Inspeccione la estructura de montaje del arreglo y el mecanismo de seguimiento. Revise periódicamente cualquier sistema de anclaje que se haya usado.

- Inspeccione el funcionamiento de los interruptores. Asegúrese que el movimiento sea firme. Vea si los contactos están corroídos o quemados. Inspeccione los fusibles con un voltímetro. Un fusible bueno no debe tener casi ninguna caída de tensión cuando circula la corriente. Vea si hay descoloración en los extremos de los fusibles.

El proyectista debe suministrar instrucciones específicas para el mantenimiento del sistema. Si se siguen las instrucciones, se hacen simples inspecciones y se corrige cualquier problema visible, aumentará la disponibilidad del sistema y se prolongará su vida útil.

- El mantenimiento preventivo es el mejor cuidado.
- Inspeccione los sistemas por lo menos una vez al año.
- Seguridad ante todo.

5.13.2 LOCALIZACIÓN DE FALLAS

Si ha ocurrido un tipo de problema ya conocido o sospechado, generalmente se puede ubicar siguiendo una serie lógica de pruebas y analizando los resultados. Las pruebas básicas se pueden efectuar con instrumentos sencillos y herramientas comunes. Todo lo que se requiere es un voltímetro, un hidrómetro, pinzas, desarmadores y llaves ajustables o de expansión. Para trabajar en el cuarto de las baterías se recomienda usa guantes, gafas de seguridad y zapatos con suela de caucho. Conviene quitarse cualquier joya antes de probar los circuitos eléctricos. Las pruebas del sistema deben hacerse entre dos personas. Antes de comenzar, asegúrese que ambas personas conozcan la ubicación de los interruptores de desconexión o disyuntores y sepan cómo operarlos. Recuerde que los arreglos fotovoltaicos producen energía eléctrica todo el tiempo que brille el sol y que cualquier arreglo con más de dos módulos puede producir suficiente electricidad para matar un ser humano. Siempre mida la tensión presente antes de tocar un alambre o conector y nunca desconecte un alambre antes de saber qué tensión o corriente tiene presente.

En la figura No. 17 se indica una guía generalmente para encontrar averías en los sistemas fotovoltaicos independientes provistos de baterías. Busque primero las cosas simples. Vea si hay fusibles quemados , disyuntores abiertos, o malas conexiones.

Haga las reparaciones necesarias. Vea el estado de las luces indicadoras del controlador, si existen. Después inspeccione las cargas. Los aparatos, bombas, etc., pueden tener un fusible quemando o haber fallado. Vea si la tensión disponible en la entrada de la carga tiene el valor correcto. Si tiene otra carga similar, enchúfela en ese circuito. Si esta carga funciona, entonces el aparato original está defectuoso. Si no hay tensión o es incorrecta, verifique la tensión de la batería. Si la tensión correcta está presente en la salida, inspeccione el circuito entre la batería y la carga. Recargue la batería si la tensión es baja.

También puede inspeccionar la tensión y gravedad específica de cada celda y ver si alguna celda está débil. Si la tensión de la batería es baja (menos de 11.0 V en un sistema de 12 V) el problema podrá ser el controlador. (¿Ha estado nublado el cielo por muchos tiempo? En este caso tal vez no haya problemas en el sistema).

Verifique la tensión de entrada al controlador. ¿Es igual a la tensión de la batería? Si es así, el controlador tiene el arreglo conectado a la batería. ¿Fluye corriente de carga por el arreglo? Si la respuesta es afirmativa, podrá desconectar la carga de aparatos y dejar que el arreglo recargue la batería. Si no fluye corriente o si la tensión en la entrada del controlador es igual a la tensión de circuito abierto del arreglo, el controlador puede haber fallado.

GUIA DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS

FIGURA No. 17

INSPECCIONE EL SISTEMA

Inspeccione todos los fusibles e interruptores
Inspeccione todas las conexiones
Vea si hay algún conductor roto

→ Repare lo necesario

INSPECCIONE LAS CARGAS ELECTRICAS

¿Está presente la tensión correcta?
¿Está tomando corriente cada una de las cargas?

→ Repare lo necesario

INSPECCIONE LA BATERIA

¿Está presente la corriente de carga?
¿Están correctos los valores de tensión y de gravedad específica?
¿Está correcto el nivel de electrólito?

TENSION

¿Tiene cada celda una tensión mayor de 2V?
(1 2 V en las baterías de NiCd)
¿Hay una diferencia de más de ± 0 05 V entre celdas?

GRAVEDAD ESPECIFICA

¿Es la gravedad específica menor de 1 21?
¿Hay una diferencia de más de ± 0 05 puntos entre celdas?

CARGUE LA BATERIA Y VUELVA A PROBARLA

→ Repare lo necesario

INSPECCIONE EL CONTROL ADOR DE CARGA

Inspeccione las luces indicadoras de estado, si existen
Verifique que la tensión de entrada proveniente del arreglo sea correcta
Verifique que la tensión de salida ¿Cuál es la tensión de funcionamiento o la de circuito abierto?
¿Está presente la corriente del arreglo?
Cubra los módulos con sombra, uno a la vez - ¿Cambia la corriente de salida?

→ Repare lo necesario

INSPECCIONE EL ARREGLO FOTOVOLTAICO

¿Están bien todas las conexiones?
Verifique la tensión de salida - ¿Es la tensión de funcionamiento o la de circuito abierto?
¿Está presente la corriente del arreglo?
Cubra los módulos con sombra, uno a la vez - ¿Cambia la corriente de salida?

Si se determina que el controlador está bien, inspeccione el arreglo. Mida la tensión en la salida. Puede ser necesario desconectar el controlador y conectar el arreglo directamente a la batería. Mida la corriente. Cubra con sombra cada módulo y vea si cambia la corriente. Asegúrese de retornar el sistema a su configuración original cuando termine de localizar la falla.

Si la carga de aparatos eléctricos funciona algunas veces pero sospecha que la cantidad de potencia disponible no es l a normal, el problema podrá ser más difícil de encontrar. La potencia de salida de un sistema fotovoltaico independiente varía con las condiciones, y la inspección del funcionamiento del sistema requiere la medida simultánea de las condiciones solares dadas y de la potencia de salida del sistema. Estas mediciones podrán requerir equipos de pruebas específicos y tener conocimientos difíciles de conseguir. Consulte al proyectista o instalador de su sistema si usted sospecha que hay una ligera reducción en el rendimiento del sistema pero no puede encontrar ninguna falla.

- Inspeccione primero las partes sencillas

5.13.3 EJEMPLO ESPECIFICO

La familia Acosta deseaban que su sistema fotovoltaico incluyera detectores e instrumentos de medición de fácil lectura para poder observar el funcionamiento del sistema y estar alerta en caso de posibles problemas. Tomaron fotografías mientras se instalaba el sistema incluyeron las fotos en un libro de registro donde planeaban anotar todos los eventos relacionados con el sistema. Pusieron el libro y todos los documentos del sistema en una repisa cerca del cuarto de control.

La familia Acosta también especificó el suministro de un manual de operaciones completo con todos los diagramas esquemáticos del sistema, las especificaciones y garantía de los componentes, procedimientos de mantenimiento preventivo y una guía de localización de fallas. Pasaron varias horas estudiando la documentación del sistema, y cada miembro de la familia aprendió a desconectar la corriente del arreglo y a aislar eléctricamente el banco de batería. Pusieron un letrero sobre el interruptor de desconexión para recordar que el lado de corriente continua del interruptor de desconexión permanecería "vivo" (con tensión) mientras el sol brillara sobre el arreglo.

La familia Acosta planean inspeccionar la condición del sistema todos los meses durante el primer año y de ahí en adelante cada tres meses. En las inspecciones planean apretar las conexiones, limpiar las cajas de los equipos y observar cualquier señal de corrosión. También inspeccionarán el nivel de electrólitos en la batería y corregirán los problemas pequeños antes de que resulten costosos. El sistema les funcionará bien y, si toman cuidado de él, el sistema tomará cuidado de ellos.

5.14 ECONOMIA: CALCULO DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA UTIL

¿Cómo puedo comparar el costo de diversos sistemas?

5.14.1 DESCRIPCIÓN

¿Puede El análisis del costo del ciclo de vida útil (CCVU) indicarle el costo total de su sistema fotovoltaico, incluyendo todos los gastos incurridos durante la vida del sistema? Existen dos razones para hacer un análisis del CCVU:

1. Para comparar las diferentes opciones de energía
2. Determinar los diseños más económicos para el sistema.

Muchas personas que instalan pequeños sistemas fotovoltaicos no tienen ninguna otra opción, así que no es necesaria la comparación de fuentes de energía. El sistema fotovoltaico les proporciona energía donde no había energía anteriormente. Para estas personas, el costo inicial del sistema es la principal preocupación. Sin embargo, aun si la energía fotovoltaica es su única opción, ello pueden obtener beneficios del análisis del CCVU para comparar los costos de los diferentes diseños y/o determinar si un sistema híbrido sería una opción económica. El análisis del CCVU permite que el diseñador pueda estudiar el efecto de usar distintos componentes con diferentes vidas útiles. Por ejemplo, una batería más económica podría durar 4 años, pero una batería más económica podría durar 4 años, pero una batería más cara debiera durar 7 años. ¿Qué batería se debe comprar? Este tipo de pregunta se puede contestar haciendo un análisis del CCVU.

Algunos diseñadores podrán desear comparar el costo de diferentes opciones de energía, tales como sistemas fotovoltaicos, generadores de gas, o la extensión de la línea

de la compañía eléctrica. Los costos iniciales de estas opciones serán diferentes, a igual que los costos de operación, mantenimiento y reparación o cambio. Un análisis del CCVU puede ayudar a comparar las opciones de alimentación eléctrica. **El análisis del CCVU consiste en calcular el valor presente de cualquier gasto anticipado que pueda ocurrir durante la vida anticipada del sistema.** Para ser incluida en el análisis del CCVU, cualquier partida debe tener un costo asignado, aún cuando existen consideraciones que no pueden tener fácilmente un valor monetario. Por ejemplo, el costo de un galón de combustible diesel puede ser conocido, el costo de almacenar el combustible en el sitio se puede estimar con una precisión razonable, pero el costo de la polución causada por un generador se puede basar en una suposición razonable. Además, los sistemas de energía varían en cuanto a rendimiento y confiabilidad. Para obtener una buena comparación, la confiabilidad y el rendimiento deben ser los mismos. Esto se puede lograr mejorando el diseño del sistema menos confiable para igualar la disponibilidad de energía del mejor sistema. En algunos casos, será necesario incluir el costo de componentes redundantes para igualar la confiabilidad de los dos sistemas. Sólo se puede hacer una comparación correcta del CCVU si cada sistema puede ejecutar el mismo trabajo con la misma confiabilidad.

5.14.2 CALCULO DEL CCVU

El costo del ciclo de vida útil de un proyecto se puede representar con la fórmula:

$$\mathbf{CCVU = C + Mvp + Evp + Rvp - Svp}$$

Donde el subscrito "vp" indica el valor presente de cada factor.

El costo del capital C de un proyecto incluye el capital inicial necesario para los gastos de equipos, diseño e ingeniería del sistema y su instalación. Este costo se calcula siempre como un solo pago que ocurre en el primer año del proyecto, no importa cómo sea financiado.

El costo de mantenimiento M equivale a la suma de todos los costos anuales de operación y los de mantenimiento programado O y M. No se incluye el costo del combustible ni del reemplazo de equipos. Los costos de O y M incluyen costo tales como el salario de un operador, inspecciones, seguros, impuestos sobre la propiedad y todo el mantenimiento programado.

El costo de energía E de un sistema es la suma de los costos anuales de combustibles o energía. El costo de energía se calcula separadamente del costo de operación y mantenimiento, para poder considerar el factor de inflación en el precio del combustible.

El costo de reemplazo R es la suma de todos los costos previstos de reparación y reemplazo de equipos durante la vida útil del sistema. El reemplazo de una batería es un buen ejemplo de tal costo, que puede ocurrir una o dos veces durante la vida útil de un sistema fotovoltaico. Normalmente, estos costos ocurren en años específicos y se incluyen como una suma global en dichos años.

El valor de recuperación V de un sistema es su valor neto o de rescate en el último año del ciclo de vida útil. Es práctica común asignar un valor de 20% del costo original a los equipos mecánicos que pueden ser recuperados. Este % puede ser modificado de acuerdo con factores tales como obsoletos o envejecimiento y el grado de mantenimiento.

Los costos futuros tienen que ser descontados (o sea calculados con un porcentaje de descuento) debido a la variación de valor que tiene el dinero con el tiempo. Por

ejemplo, una cantidad de dinero recibida hoy vale más cantidad del año próximo, porque la cantidad recibida hoy se puede invertir y ganar intereses. Las futuras sumas de dinero también tienen que ser descontadas debido al riesgo inherente de que los eventos futuros no sucedan en la forma prevista. Se deben considerar varios factores cuando se vaya a escoger el período para un análisis del CCVU. El primero es la vida útil del equipo. Los módulos fotovoltaicos deben funcionar durante 20 años o más sin fallar. El análisis de un sistema fotovoltaico sobre un período de 5 años no daría crédito a su durabilidad y confiabilidad. Veinte años es el período normal escogido para evaluar proyectos fotovoltaicos.

Para el descuento de los costos futuros se pueden usar los factores de multiplicación que contienen las Tablas 3 y 4 de este capítulo. La Tabla 3 indica los factores simples de valor actual. Estos factores se usan para el descuento de un costo que ocurra en un año determinado, tal como el reemplazo de la batería el décimo año de un proyecto o instalación. La tabla 4 indica los factores uniformes de valor actual, que se emplean para el descuento de costos que se repiten anualmente, tal como el costo anual de combustible para un generador. Para aplicar esta tablas, simplemente elija la columna apropiada de la tasa de descuento y lea el factor de multiplicación correspondiente al año o grupo de años correctos.

La tasa de descuento elegida para un análisis del CCVU tendrá un gran impacto sobre los resultados finales. La tasa deberá reflejar las ganancias potenciales del propietario del sistema, ya sea el propietario el gobierno nacional, una pequeña población o una persona en particular.

El dinero gastado en un proyecto se podría haber invertido en cualquier otra forma para ganar un interés cierto. La tasa nominal de inversión, no es la tasa de rendimiento real que recibe un inversionista por el dinero colocado en un proyecto. La inflación, o sea la tendencia al aumento de los precios con el tiempo, hará disminuir el valor de las ganancias futuras. Por lo tanto, el porcentaje de inflación debe restarse de la tasa de rendimiento nominal del inversionista para obtener la tasa de descuento neta (o el costo

de oportunidad real del capital). Por ejemplo, si la tasa nominal de inversión era de 7% y se asumió que la inflación general llegaría al 2% durante el período del análisis del CCVU, la tasa de descuento neta sería de 5%.

Se pueden usa tasas diferentes de descuento. Por ejemplo, se puede esperar que los precios de combustibles suban más rápidamente que la tasa general de inflación. En este caso, se usaría una tasa de descuento más baja cuando se asume el costo futuro de combustible, En el ejemplo anterior, se asumió una tasa de descuento neto de 5%. Si se espera que el costo del combustible diesel aumente con una tasa 1% mayor que la tasa general de inflación, entonces se usaría una tasa de descuento de 4% para calcular el valor actual de los futuros costos de combustible. Consulte a su banco local para determinar qué opina de las futuras tasas de inflación para varios productos y servicios. Usted puede hacer un cálculo estimado de las tasa futuras, teniendo en cuenta que un error en ese cálculo puede afectar mayormente los resultados del análisis del CCVU. Si usa una tasa de descuento muy baja, los costos futuros serán exagerados; el uso de una tasa muy alta tendrá el efecto opuesto de enfatizar los costos iniciales sobre los costos futuros. Usted podría hacer un análisis del CCVU con tasa futuras estimadas como "altas, bajas y medias" y así podrían límite al costo del ciclo de vida de sistemas alternativos.

5.14.3 NOTAS TÉCNICAS

1. La fórmula para calcular el valor actual simple V de una suma futura de dinero F es un año dado N a una tasa de descuento dada D es:

$$V = F / 1 (1 + D)^{N}$$

2. La fórmula para calcular el valor actual uniforme V de una suma anual A recibida sobre un período de años N a una tasa de descuento dada D es:

$$V = A [1 - (1+ D)^{-N} / D]$$

3. La fórmula para calcular el valor actual uniforme modificado V de una suma anual A que aumenta en un porcentaje de escalación E sobre un período de años N a una tasa de descuento dada D es:

$$V = A \ \{ [(1 + E) / (I - E)] * [1 - [(1 + e) / (1 + I)]^{N}] \}$$

4. La fórmula para calcular el pago anual A de un préstamo de una suma principal o capital C a una tasa de interés I sobre un período de años N es:

$$A = C \ \{ [I / [1 - (1 + I)^{-N} / I] \}$$

- Convierta todos los costos a su valor actual.
- El valor de recuperación es generalmente el 10 ó 20% del valor original.
- La tasa de descuento tiene gran influencia en los resultados del CCVU.
- Una baja tasa de descuento aumenta el costo futuro, mientras que una tasa alta enfatiza el costo inicial.
- Use un período de 20 a 30 años para la evaluación de un sistema fotovoltaico.
- El CCVU se puede usar para analizar las decisiones de inversión.

TABLA No. 3

FACTORES UNICOS DE VALOR ACTUAL

TASA DE DESCUENTO NETO

AÑO		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
1		0 990	0 980	0 971	0 962	0 952	0 943	0 935	0 926	0 917	0 909	0 901	0 893
2		0 980	0 961	0 943	0 925	0 907	0 890	0.873	0 857	0 842	0 826	0 812	0 797
3		0 971	0 942	0 915	0 889	0 864	0.840	0 716	0 794	0 772	0 751	0 731	0 712
4		0 961	0 924	0 888	0 855	0 823	0 792	0 763	0 735	0 708	0 683	0 659	0 636
5		0 951	0 906	0 863	0.822	0 784	0 747	0 713	0 681	0 650	0 621	0 593	0.567
6		0 942	0 888	0 837	0 790	0 746	0 705	0 666	0 630	0 596	0 564	0 535	0 507
7		0 933	0 871	0.813	0 760	0 711	0 665	0 623	0 583	0.547	0.513	0 482	0 452
8		0 923	0 853	0 789	0 731	0 677	0 627	0.582	0.540	0 502	0 467	0 434	0 404
9		0 914	0 837	0 766	0 703	0 645	0.592	0.544	0.500	0 460	0 424	0 391	0.361
10		0 905	0 820	0 744	0 676	0 614	0.558	0.508	0 463	0.422	0.386	0 352	0 322
11		0 896	0.804	0 722	0 650	0 585	0.527	0 475	0 429	0 388	0.350	0.317	0.287
12		0 887	0 788	0 701	0 625	0 557	0 497	0 444	0.397	0 356	0 319	0 286	0 257
13		0 879	0 773	0 681	0 601	0 530	0 469	0 415	0 368	0 326	0 290	0 258	0.229
14		0 870	0 758	0 661	0 577	0 505	0 442	0 388	0 340	0.299	0.263	0 232	0 205
15		0 861	0 743	0 642	0 555	0 481	0 417	0 362	0 315	0 275	0.239	0 209	0 183
16		0 853	0 728	0 623	0.534	0 458	0.394	0.339	0.292	0.252	0.218	0 188	0 163
17		0 844	0 714	0 605	0.513	0 436	0 371	0.317	0.270	0.231	0 198	0 170	0 146
18		0 836	0 700	0 587	0 494	0 416	0 350	0.296	0 250	0.212	0 180	0 153	0 130
19		0 828	0 686	0 570	0 475	0 396	0.331	0.277	0.232	0 194	0 164	0 138	0 116
20		0 820	0 673	0 554	0 456	0 377	0.312	0.258	0.215	0 178	0 149	0 124	0 104
21		0 811	0 660	0.538	0 439	0 359	0.294	0.242	0 199	0 164	0 135	0 112	0 093
22		0 803	0 647	0.522	0 422	0 342	0.278	0.226	0 184	0 150	0 123	0 101	0 083
23		0 795	0 634	0.507	0 406	0 326	0.262	0.211	0 170	0 138	0 112	0 091	0 074
24		0 788	0 622	0 492	0.390	0.310	0.247	0 197	0 158	0 126	0 102	0 082	0 066
25		0 780	0 610	0 478	0 375	0 295	0.233	0 184	0 146	0 116	0 092	0 074	0 059
26		0 772	0 598	0 664	0 361	0.281	0.220	0 172	0 135	0 106	0 084	0 066	0 053
27		0 764	0.586	0 450	0.347	0.268	0.207	0 161	0 125	0 098	0 076	0 060	0 047
28		0 757	0.574	0 437	0 333	0.255	0 196	0 150	0 116	0 090	0 069	0 054	0 042
29		0 749	0 563	0 424	0.321	0.243	0 185	0 141	0 107	0 082	0 063	0 048	0 037
30		0 742	0.552	0 412	0 308	0.231	0 174	0 131	0 099	0 075	0 057	0 044	0 033
35		0 706	0.500	0 355	0.253	0 181	0 130	0 094	0 068	0 049	0 036	0 026	0 019
40		0 672	0 453	0 307	0.208	0 142	0 097	0 067	0 046	0 032	0 022	0 015	0 011
45		0 639	0 410	0 264	0 171	0 111	0 073	0 048	0 031	0 021	0 014	0 009	0 006
50		0 608	0 372	0.228	0 141	0 087	0 054	0 034	0 021	0 013	0 009	0 005	0 003
55		0 579	0 337	0 197	0 116	0 068	0 041	0 024	0 015	0 009	0 005	0 003	0 002
60		0 550	0 305	0 170	0 095	0 054	0 030	0 017	0 010	0 006	0 003	0 002	0 001
65		0 524	0 276	0 146	0 078	0 042	0 023	0 012	0 007	0 004	0 002	0 001	0 001
70		0 498	0 250	0 126	0 064	0 033	0 017	0 009	0 005	0 002	0 001	0 001	0 000
75		0 474	0 226	0 109	0 053	0 026	0 013	0 006	0 003	0 002	0 001	0 000	0 000

TABLA No. 4

FACTORES UNIFORMES DE VALOR ACTUAL

TASA DE DESCUENTO NETO

AÑO		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
1		0 990	0 980	0 971	0 962	0 952	0 943	0 935	0 926	0 917	0 909	0 901	0 893
2		1 970	1 942	1 913	1 886	1 859	1 833	1 808	1 783	1 759	1 736	1 713	1 690
3		2 941	2 884	2 829	2.775	2 723	2 673	2.624	2 577	2.531	2 487	2.444	2 402
4		3 902	3 808	3 717	3 630	3 546	3 465	3.387	3 312	3.240	3 170	3 102	3 037
5		4 853	4 713	4 580	4 452	4 329	4.212	4 100	3 993	3 890	3 791	3 696	3 605
6		5 795	5 601	5 417	5 242	5 076	4 917	4 767	4 623	4 486	4 355	4.231	4 111
7		6 728	6 472	6.230	6 002	5 786	5 582	5.389	5 206	5 033	4 868	4 712	4.564
8		7 652	7 325	7 020	6 733	6 463	6 210	5 971	5.747	5.535	5 335	5 146	4 968
9		8.566	8 162	7 786	7 435	7 108	6 802	6.515	6.247	5 995	5 335	5.537	5 328
10		9 471	8 983	8 530	8 111	7 722	7.360	7 024	6 710	6 418	5.759	5 889	5 650
11		10.368	9 787	9 253	8 760	8.306	7 887	7 499	7 139	6 805	6 145	6 207	5 938
12		11.255	10.575	9 954	9 385	8 863	8 384	7 943	7 536	7 161	6 495	6 492	6 194
13		12 134	11.348	10 635	9 9986	9.394	8 853	8.358	7 904	7 487	6 814	6 750	6 424
14		13 004	12 106	11.296	10.563	9 899	9 295	8 745	8 244	7 786	7 103	6 982	6 628
15		13.865	12.849	11 938	11 118	10.380	9 712	9 108	8 559	8 061	7 367	7 191	6 811
16		14 718	13.578	12.561	11 652	10.838	10 106	9 447	8 851	8 313	7 606	7.379	6 974
17		15.562	14.292	13 166	12 166	11.274	10 477	9 763	9 122	8 544	7 824	7 549	7 120
18		16.398	14.992	13 754	12 659	11 690	10.828	10 059	9 372	8 756	8 022	7 702	7.250
19		17.226	15 678	14.324	13 134	12 085	11 158	10.336	9 604	8 950	8 201	7.839	7.366
20		18 046	16.351	14 877	13.590	12 462	11 470	10.594	9 818	9 129	8 365	7 963	7 469
21		18 857	17 011	15 415	14 029	12.821	11 764	10 836	10 017	9.292	8 514	8 075	7.562
22		19 660	17 658	15.937	14 451	13 163	12 042	11 061	10.201	9 442	8 649	8 176	7 645
23		20 456	18.292	16 444	14.857	13 489	12.303	11.272	10.371	9 580	8 772	8.266	7 718
24		21.243	18 914	16.936	15.247	13 799	12.550	11 469	10.529	9 707	8 883	8 348	7 784
25		22 023	19.523	17 413	15 622	14 094	12 783	11 654	10 675	9 823	8 985	8 422	7 843
26		22 795	20 121	17.877	15 983	14.375	13 003	11.826	10 810	9 929	9 077	8 488	7 896
27		23.560	20 707	18.327	16.330	14 643	13.211	11.987	10 935	10 027	9 161	8 548	7 943
28		24.316	21.281	18 764	16.663	14.898	13 406	12 137	11 051	10 116	9 237	8.602	7 984
29		25 066	21.844	19 188	16 984	15.141	13.591	12.278	11 158	10 198	9 307	8 650	8 022
30		25.808	22.396	19 600	17.292	15.372	13 765	12 409	11.285	10.274	9 370	8 694	8 055
35		29 409	24.999	21 487	18 665	16.374	14 498	12 948	11 655	10.567	9 427	8 855	8.176
40		32 835	27.355	23 115	19 793	17 159	15 046	13.332	11.925	10 757	9 644	8 951	8.244
45		36 095	29 490	24.519	20 720	17 774	15 456	13 606	12 108	10 881	9 779	9 008	8.283
50		39 196	31 424	25 730	21 482	18.256	15 762	13 801	12.233	10 962	9 863	9 042	8 304
55		42 147	33 175	26.774	22.109	18 633	15 991	13 904	12.319	11 014	9 915	9 062	8 317
60		44 955	34 761	27 676	22 623	18 929	16 161	14.039	12.377	11 048	9 967	9 074	8 324
65		47 627	36 197	28 453	23 047	19 161	16.289	14.110	12 416	11 070	9 980	9 081	8 328
70		50 169	37 499	29 123	23 395	19 343	16 385	14 160	12 443	11 084	9 987	9 085	8 330
75		52 587	38 677	29 702	23 680	19 485	16 456	14 196	12 461	11 094	9 992	9 087	8 332

TABLA No. 5

CAPITALES E INTERES ANUAL POR UN PRESTAMO DE US $ 1,000

Tasa de interés		Préstamo por 5 años	Préstamo por 10 años	Préstamo por 15 años	Préstamo por 20 años	Préstamo por 25 años
0 05		$ 230 97	$ 129.50	$ 96 34	$ 80 24	$ 70 95
0 0525		$ 232.57	$ 131 08	$ 97 98	$ 81 95	$ 72 74
0 055		$ 234 18	$ 132 67	$ 99 63	$ 83 68	$ 74 55
0 0575		$ 235 78	$ 134.26	$ 101.29	$ 85 42	$ 76 38
0 06		$ 237 40	$ 135.87	$ 102.96	$ 87 18	$ 78.23
0 0625		$ 239 01	$ 137 48	$ 104 65	$ 88 96	$ 80 09
0 065		$ 240 63	$ 139 10	$ 106.35	$ 90 76	$ 81 89
0 0675		$ 242.26	$ 140 74	$ 108 07	$ 92 57	$ 83.89
0 07		$ 243 89	$ 142.38	$ 10 9 79	$ 94 39	$ 85 81
0 0725		$ 245.53	$ 144 03	$ 111.53	$ 96 23	$ 87 75
0 075		$ 247 16	$ 145 69	$ 113.29	$ 98 09	$ 89 71
0 0775		$ 248.81	$ 147.35	$ 115 05	$ 99 96	$ 91 68
0 08		$ 250 46	$ 149 03	$ 116.83	$ 101 85	$ 83 68
0 0825		$ 252 11	$ 150 71	$ 118 62	$ 103 75	$ 95 69
0 085		$ 253 77	$ 152 41	$ 120 42	$ 105 67	$ 97 71
0 0875		$ 255 43	$ 154 11	$ 122.23	$ 107 60	$ 99 75
0 09		$ 257 09	$ 155.82	$ 124 06	$ 109 55	$ 101.81
0 0925		$ 258 76	$ 157.54	$ 125 90	$ 111.50	$ 103 88
0 095		$ 260 44	$ 159.27	$ 127 74	$ 113 48	$ 105.96
0 0975		$ 262.11	$ 161 00	$ 129 60	$ 115 46	$ 108 06
0 1		$ 263.80	$ 162 75	$ 131 47	$ 117 46	$ 110 17
0 1025		$ 265 48	$ 164.50	$ 133 36	$ 119 47	$ 112.29
0 105		$ 267 18	$ 166.26	$ 135.25	$ 121 49	$ 114 43
0 1075		$ 268 87	$ 168 03	$ 137 15	$ 123.53	$ 116.58
0 11		$ 270.57	$ 169.80	$ 139 07	$ 125 58	$ 118 74
0 1125		$ 272.27	$ 171.59	$ 140 99	$ 127 63	$ 120 91
0 115		$ 273.98	$ 173.38	$ 142 92	$ 129 70	$ 123 10
0 1175		$ 275 69	$ 175 18	$ 144.87	$ 131 79	$ 125.29
0 12		$ 277 41	$ 176 98	$ 146 82	$ 133 88	$ 127.50
0 1225		$ 279 13	$ 178 80	$ 148 79	$ 135 98	$ 129 72
0.125		$ 280 85	$ 180 62	$ 150 76	$ 138 10	$ 131 94
0 1275		$ 282.59	$ 182 45	$ 152 75	$ 140 22	$ 134 18

MULTIPLIQUE EL COSTO DE CADA US $1,000 POR LA CANTIDAD TOTAL DEL PRESTAMO
(EN MILES DE DOLARES)

5.14.4 EJEMPLO ESPECIFICO

Cuando La familia Acosta proyectaba la construcción de su casa, consideraron dos opciones para el suministro de electricidad: el uso de un generador diesel y la instalación de un sistema fotovoltaico independiente. La familia consideró que la confiabilidad y la disponibilidad de energía de estas opciones eran iguales si ambos sistemas fueran mantenidos en buenas condiciones a través de toda la vida útil, aunque planeaban tres cambios (o reconstrucción) del generador sobre un periodo de 20 años. Efectuaron el siguiente análisis de costo del ciclo de vida útil (CCVU) para determinar el costo total de las dos opciones, usando para cada ejemplo la hoja del CCVU que se incluye en el apéndice B.

ANÁLISIS DE CSTO DEL CICLO DE VIDA UTIL (CCVU)

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: Sistema generador para la familia Acosta

PARÁMETROS ECONOMICOS

1 Años del ciclo de vida util:	20	3 Tasa de inflación general:	0 04
2. Tasa de inversión.	0 07	4 Tasa de inflación del combustible:	0 05
Tasa de descuento neto (2 – 3)=	0 03	Inflación diferencial del combustible (4-3) =	0 01

Renglón	Valor Actual de un año	Valor actual uniforme en "X" año	Cantidad en dólares		Factor de valor actual (Tabla 4 ó 5)	Monto de valor actual
1. Capital para equipo e instalación	-	-	7,800	x	1	= $7,800
2. Operación y mantenimiento						
Mano de obra. afinación		20	120	x	14 88	= 1,785
Inspección anual		20	75	x	14 88	= 1,115
Seguro		—	—	x	—	= —
Otros		—	—	x	—	= —
3. Costo de energía						
Combustible de generador		20	200	x	18 05	= 3,610
Tasa de descuento = 0 02		—	—	x	—	= —
4 Reparación y repuestos						
Banco de batería	8		1,500	x	0 789	= 1,185
Banco de baterías	16		1,500	x	0 623	= 935
Reconstrucción del generador	5		1,200	x	0 863	= 1,035
Reconstrucción del generador	10		1,200	x	0 744	= 890
Reconstrucción del generador	15		1,200	x	0 642	= 770
5. Valor residual						
20% de original	20		1,360	x	0 258	= (305)
Costo de equipo (US $ 6,800)	—		—	x	—	= —
COSTO TOTAL DEL CICLO DE VIDA UTIL	(PARTIDAS 1 + 2 + 3 + 4 – 5)					$ 18,775

NOTAS.

ANÁLISIS CCVU DEL SISTEMA GENERADOR

El sistema generador propuesto consistía en un generador de 4 kw, un banco de baterías de 500 AH y un inversor de 2.5 Kw. Se cálculo que la instalación de este sistema costaría inicialmente $7,800 dólares, incluyendo el diseño y la ingeniería. Se estimó que el generador consumiría $200 al año en combustible, requeriría una inspección anual que costaría $75 y una afinación ($120/año), y tendría que ser reconstruido cada 5 años a un costo estimado en $1,200. Además el banco de baterías tendría que cambiarse cada 8 años.

El sistema fotovoltaico consistía en un arreglo de paneles de 600 watts, una batería de 950 AH y un inversor de 2.5 KW. Se estimado {o en $10,800 el costo total de diseño e instalación de este sistema. El único costo futuro de este sistema sería el cambio del banco de baterías cada 8 años y una inspección anual a un costo de $75 dólares.

ANÁLISIS DE CSTO DEL CICLO DE VIDA UTIL (CCVU)

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: Sistema generador para la familia Acosta

PARÁMETROS ECONOMICOS

1 Años del ciclo de vida util:	20	3 Tasa de inflación general:	0 04
2 Tasa de inversión.	0 07	4 Tasa de inflación del combustible	0 05
Tasa de descuento neto (2 – 3)=	0 03	Inflación diferencial del combustible (4-3) =	0 01

Renglón	Valor Actual de un año	Valor actual uniforme en "X" año	Cantidad en dólares		Factor de valor actual (Tabla 4 ó 5)	Monto de valor actual
1. Capital para equipo e instalación	-	-	10,800	x	1	= $ 10,800
2. Operación y mantenimiento						
Mano de obra afinación		20	75	x	14.88	= 1,115
Inspección anual		—	—	x	—	= —
Seguro		—	—	x	—	= —
Otros		—	—	x	—	= —
3 Costo de energía						
Combustible de generador		—	—	x	—	= —
Tasa de descuento - 0 02		—	—	x	—	= —
4 Reparación y repuestos						
Banco de batería	8		1 500	x	0 789	= 1,185
Banco de baterías	16		1,500	x	0 623	= 935
	—		—	x	—	= —
	—		—	x	—	= —
	—		—	x	—	= —
5. Valor residual						
20% de original	20		2,160	x	0 .258	= (560)
Costo de equipo (US $ 6,800)	—		—	x	—	= —
COSTO TOTAL DEL CICLO DE VIDA UTIL	(PARTIDAS 1 + 2 + 3 + 4 – 5)					$ 15,380

NOTAS

El período del ciclo de vida útil se estableció en 20 años para que coincidiera con la vida económica anticipada del sistema de alimentación eléctrica. La Sra. Acosta pensó que la familia podría ganar un 7% de interés anual sobre una inversión fija durante 20 años. Se estimó una inflación general de 4% por año. Por lo tanto, la tasa de descuento neto fue fijada en 3%. La inflación anual del combustible que estimada en 5% y, por lo tanto, la tasa diferencial de inflación del combustible se fijó en 1% al año (5% de inflación de combustible menos 4% de inflación general). Un vez hechas las

suposiciones básicas para cada sistema, la familia llenó la hoja de cálculos del CCVU del apéndice B para ambas alternativas.

El costo inicial de capital de cada sistema se consideró como un pago que ocurre en el año 0 del ciclo de vida útil. Aun si el dinero se obtiene mediante un préstamo, el costo inicial no está sujeto a descuento porque los costos de financiamiento no deben ser incluidos en el análisis del CCVU.

El costo de afinación anual se calcula bajo el rubro de mantenimiento. Este es un costo que ocurre anualmente y, por lo tanto, se descuenta de acuerdo con la Tabla 4, usando una tasa de descuento neto de 3%. El costo de energía también ocurre anualmente y se calcula en la misma forma, excepto que la tasa de descuento que se usa es la tasa diferencial de inflación del combustible de 1%.

Los costos de reparaciones se descuentan usando la tasa de descuento neto de 3% y la Tabla 3. A una tasa de descuento neto de 3%, el factor para el año 8 es de 0.789. El costo de reparaciones se multiplica por este factor y se anota en la columna del valor actual. Esto se hace para cada reparación individual; en este caso, dos cambios de baterías y tres reconstrucciones del generador.

El factor final del costo es el valor de recuperación. En este caso se considera el 20% del valor original de los equipos del sistema y este valor se anota y se descuenta en el año 2. Se ha usado una tasa de descuento de 6% por que la inflación no es un factor en el cálculo del valor de recuperación.

Ahora se suman las cifras del valor actual y se resta el valor de recuperación para obtener el costo del ciclo de vida útil del sistema del generador. El costo del sistema generador se calculó en $18,755, mientras que el CCVU del sistema fotovoltaico era $15,380. Como el sistema fotovoltaico costaba mucho menos y proporcionaba energía en forma confiable y silenciosa, la Familia Acosta confirmó la factibilidad económica de

su deseo de invertir en un sistema fotovoltaico como una fuente de alterna confiable de energía eléctrica.

Una vez tomada la decisión,, los Acosta desearon verificar el costo anual del financiamiento del sistema para poder conocer la cantidad de efectivo que iban a necesitar. Con el uso de una tabla de pagos de préstamos, tal como la tabla 5, calcularon el capital y el interés para cubrir el costo inicial de $10,500. El resultado fue de $919.39 anuales, o aproximadamente $75 por mes, para pagar una hipoteca por 20 años a un interés de 6%. Los Acosta decidieron que la independencia que les proporcionaría un sistema fotovoltaico era verdaderamente económica.

ANÁLISIS DE CSTO DEL CICLO DE VIDA UTIL (CCVU)			
Renglón		Valor actual del Sistema generador	Valor actual del sistema fotovoltaico
1	Capital para equipo e instalación	7,800	$ 10,800
2	Operación y mantenimiento		
	Mano de obra. afinación	935	1,115
	Inspección anual	935	
	Seguro		
	Otros		
3.	Costo de energía		
	Combustible de generador	3,270	
	Tasa de descuento = 0.02		
4	Reparación y repuestos		
	Banco de baterías año 8	1,185	2,250
	Banco de baterías año 16	935	1,775
	Restauración del generador, año 5	1,035	
	Restauración del generador año 10	890	
	Restauración del generador, año 15	770	
5	Valor residual		
	20% de original	(350)	(560)
	COSTO TOTAL DEL CICLO DE VIDA UTIL	$ 18,775	$ 15,380
	NOTAS		

ANÁLISIS DE COSTO DEL CICLO DE VIDA ÚTIL (CCVU)

6. APLICACIONES ESPECIFICAS

6.1 SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA

¿Qué clase de bombeo debo usar?

¿Necesito baterías?

¿Qué debo saber acerca del almacenaje de agua?

¿Debo usar un sistema seguidor del sol?

6.1.1 USO

El bombeo de agua es una aplicación muy común en todo el mundo. Aumenta constantemente el uso de sistemas fotovoltaicos independientes para suministrar energía a sistemas de bombeo de capacidad intermedia, o sea aquellos entre las bombas de mano y los grandes sistemas alimentados por generador. Las ventajas de las bombas alimentadas con energía fotovoltaica son las siguientes:

- Bajo mantenimiento
- Limpieza
- Facilidad de instalación
- Confiabilidad
- Posibilidad de funcionamiento sin supervisión
- La capacidad se ajusta a la necesidad

Las desventajas son un alto costo inicial y una salida variable.

Si se desea diseñar un sistema de bombeo confiable, el proyectista debe estar bien familiarizado con las características del pozo, el sistema de almacenaje, el terreno que rodea el pozo, y los datos de rendimiento de los diversos tipos de bomba disponibles para esta clase de servicio. Estos datos se pueden obtener de las fábricas o de los distribuidores de dichas bombas. El uso de la hoja de cálculo #1BA para bombeo de agua, una parte de la cual se muestra abajo, permitirá un cálculo preciso de la energía necesaria para bombear el agua requerida. Esta tesis contiene cuatro ejemplos de sistemas de bombeo de agua.

El primer requisito es un cálculo estimado del agua necesaria y la cantidad de agua que puede suministrar la fuente (flujo). Si la necesidad de agua varía durante el año, se debe preparar un cálculo estimado mensual y compararlo con la producción esperada de la fuente de agua. Es importante saber las condiciones del peor caso, así que se deben obtener datos representativos de la demanda y producción durante los meses más secos del año.

HOJA DE CALCULO No. 1 BA
BOMBEO DE AGUA

CALCULO DE LA CARGA DE

NOTA.
EL VOLUMEN DE AGUA Y LAS UNIDADES DE MEDIDA DE CARGA SE DAN EN LITROS Y METROS RESPECTIVAMENTE.

1P Capacidad de la fuente de agua (L/H)	2P Agua necesaria por día (L/DIA)
	1,500

6P Nivel de Agua (M)	7P Nivel de descenso (M)	8P Nivel de descarga (M)	9P Altura de descarga (M)	10P Altura estática (M)
4	+ 1	+ 1	+ 0	= 6

HOJA DE CÁLCULO No. 1 BA BOMBEO DE AGUA.

Si la capacidad de la fuente de agua es limitada, el proyectista debe tomar acción. Una alternativa posible es mejorar la fuente de agua o desarrollar otra. El uso de una bomba más pequeña es otra opción, pero muchas veces la disponibilidad de diferentes tamaños de bombas es limitada. Otro método es incorporar baterías en el sistema y distribuir el tiempo de bombeo sobre un periodo más largo. Esta es una de las dos razones para usar baterías en un sistema de bombeo de agua. La otra razón es cuando el tiempo de bombeo necesita ser controlado, para bombear con un flujo más grande durante un período de tiempo más corto. Un ejemplo sería un sistema residencial con tanques de almacenaje, para cuando se quiera bombear toda el agua necesaria para la casa durante el tiempo en que no se usan las otras cargas.

Aunque el uso de baterías en un sistema aumentaría al máximo el rendimiento de la bomba, debido a las condiciones estables de operación de la bomba y el motor, la mayoría de los sistemas de bombeo de agua no contienen baterías. Generalmente es más económico almacenar agua que almacenar electricidad. Si se dispone de un tanque, el sistema puede bombear todo el día y el agua se almacena para uso futuro. Para llevar el agua hasta el usuario se puede usar un sistema de alimentación por gravedad o una pequeña bomba de presión.

Otra variable que se debe especificar es el factor del tiempo de bombeo. Para el método de diseño que se presenta en esta Tesis, este factor de tiempo se refiere al número de horas máximo sol en día. Si se usa una bomba centrífuga propulsada directamente, el factor de tiempo de bombeo será igual a 1.0. En otras palabras, la bomba funcionará durante el número de horas del día que sea equivalente al número de horas de máximo sol. Si se usan baterías, el tiempo de bombeo se puede ajustar para que sea igual al flujo de la fuente. El factor de tiempo de bombeo sería igual al número de horas de funcionamiento programado divididas por el número de horas sol máximo. Si se usa un reforzador lineal de corriente o un controlador de seguimiento de máxima potencia entre el arreglo y la bomba en un sistema de propulsión directa, el factor de

tiempo de bombeo sería 1.2. Así se toman en cuenta las mejoras que producen estos dispositivos en el rendimiento del sistema.

Ahora se puede calcular la capacidad de la bomba, el tiempo de funcionamiento y la demanda total de potencia si se conoce el rendimiento de la bomba y la profundidad del agua. El rendimiento de bombas específicas depende del tipo de bomba y de las condiciones de funcionamiento.

Para las bombas centrífugas, el rendimiento es una función de la presión, flujo e insolación solar, todo lo cual varía durante el día. Bajo ciertas condiciones, el rendimiento medio diario, llamado rendimiento de cable a agua, puede ser tan bajo como un tercio del rendimiento máximo de la bomba. **Por contraste, el rendimiento de una bomba de desplazamiento cambia muy poco con el cambio de las condiciones solares.** En la Tabla 6 se muestran algunos rendimientos típicos de cable a agua.

TABLA No. 6

MEDICIONES DE RENDIMIENTO DE CABLE A AGUA

ALTURA (m)	TIPO DE BOMBA	RENDIMIENTO DE CABLE A AGUA (%)
0 a 5	Centrífuga	15 a 25
6 a 20	Centrífuga con Chorro sumergible	10 a 20 20 a 30
21 a 100	Sumergible Bomba de gato	30 a 40 30 a 45
> 100	Bomba de gato	35 a 50

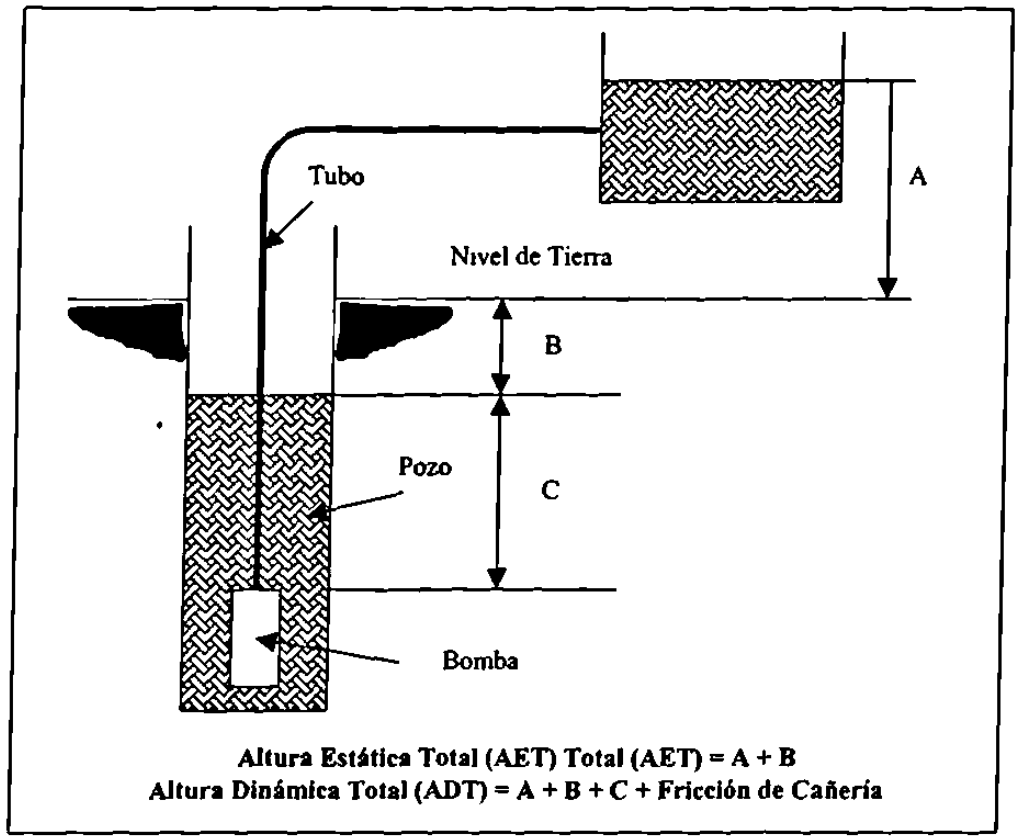
Muchos sistemas de bombeo emplean arreglos fotovoltaicos montados en sistemas seguidores de la luz solar de un solo eje. El seguimiento no sólo aumenta las horas de operación (horas de sol máximo), sino que también provee un punto más constante de operación (tensión y corriente) para el motor de la bomba. Por lo tanto, se recomiendan los sistemas de seguimiento para instalación en latitudes menores de 40°.

- Es necesario conocer las características de la fuente de alimentación para determinar con precisión la capacidad de una bomba alimentada con energía fotovoltaica.
- Se pueden usar baterías para regular el tiempo de bombeo.

6.1.2 CAPACIDAD

La hoja de cálculo No. 1BA se puede usar para calcular la energía necesaria para la carga de bombeo de agua. El diseño del sistema se puede entonces completar utilizando las hojas de cálculos No. 2 a No. 5, que se usan comúnmente para determinar la capacidad de cualquier otro sistema fotovoltaico, y la hoja de cálculo No. 2BA. El Apéndice B de esta Tesis contiene copias de las hojas de cálculo No. 1BA y 2BA. Los factores claves requeridos son los siguientes:

- Capacidad de la fuente de agua.
- Volumen de agua necesario diariamente
- Disponibilidad de insolación solar
- Tiempo de bombeo
- Nivel estático del agua
- Nivel de extracción o aspiración
- Altura de descarga
- Fricción del tamaño de la tubería
- Rendimiento del subsistema de bombeo



TERMINOS DE SISTEMA DE BOMBEO

FIGURA No. 18

En la figura No. 18 se definen algunos de los términos hidráulicos que se utilizan en la industria de bombeo. El más importante es la altura (o carga) dinámica total, que es la suma de la altura (o carga) estática, la aspiración adicional y la altura equivalente (o carga) estática, la aspiración adicional y la altura equivalente (o carga) causada por las pérdidas de fricción en la tubería. La altura dinámica total, que se expresa en pies o metros, depende del flujo y debe especificarse para un flujo específico, tal como una altura dinámica de 10 metros con un flujo de 250 litros por hora. El resultado de estos cálculos es la carga corregida en amperes-hora, que es el mismo valor determinado en la hoja de cálculo No. 1 para las cargas que no sean de bombeo de agua.

La hoja de cálculo No. 2BA provee un método para calcular la cantidad total de agua bombeada cada día y la velocidad de bombeo.

- Se pueden usar baterías para regular el tiempo de bombeo.
- El almacenaje de agua es usualmente la alternativa más económica a los pozos profundos.

6.1.3 CARACTERÍSTICAS

Hay dos amplias categorías de bombas en uso en sistemas fotovoltaicos independientes en todo el mundo: centrífugas y volumétricas . La salida de las bombas centrífugas depende de la altura, radiación solar y tensión de funcionamiento. Estas bombas son muy adecuadas para las aplicaciones en que se requieren grandes flujos desde cisternas o depósitos de poca altura. Ellas se pueden conectar directamente a la salida del arreglo fotovoltaico, pero se puede aumentar el rendimiento con un controlador electrónico, tal como el reforzador lineal de corriente, para mejorar el acoplamiento entre la bomba y el arreglo fotovoltaico.

Las bombas denominadas volumétricas o de desplazamiento (bombas de gato) se usan para bombear agua de pozos profundos. La salida resulta casi independiente de la altura pero aumenta con la radiación con la radiación solar. Estas bombas son usadas en todo el mundo por la industria del petróleo para bombear pozos profundos. Ellas no deben ser conectadas directamente a la salida de un arreglo fotovoltaico por que la corriente de carga requerida cambia drásticamente durante cada ciclo de bombeo. Se recomienda el uso de controladores de potencia máxima. Los controladores ajustan el punto de funcionamiento del arreglo fotovoltaico para suministrar máxima corriente para el arranque de un motor y mantienen el funcionamiento de los arreglos en condiciones óptimas de potencia. Algunos proyectistas de sistemas usan baterías entre la bomba volumétrica y el arreglo para proveer una fuente estable de tensión para arrancar y

operar la bomba. Generalmente no tienen el tamaño necesario para permitir el bombeo nocturno, sino sólo para darle más estabilidad al sistema durante el funcionamiento.

Tanto las bombas centrífugas como las volumétricas pueden ser propulsadas por motores de c.a. o de c.c. La selección del tipo de motor depende del volumen de agua que se necesite, así como del rendimiento, precio, contabilidad y disponibilidad de apoyo técnico. Los motores de c.c. constituyen una alternativa atractiva debido a su compatibilidad con la fuente de energía y porque generalmente su rendimiento es más alto que el de los motores de c.a Sin embargo, el costo inicial de estos motores es mayor, la selección puede estar limitada en algunos países y el motor de tipo de escobillas requiere un mantenimiento periódico. Se pueden obtener algunos tipos de motores de c.c. sin escobillas que prometen una mejor confiabilidad y menos mantenimiento. Los motores de c.a. poseen las ventajas de un bajo precio y facilidad de adquisición, aunque tienen la complejidad adicional de necesitar un inversor de c.c. a c.a.

En los sistemas de bombeo de agua el almacenaje se puede obtener mediante baterías o almacenando el agua en tanques. El añadir baterías a un sistema aumenta el costo y reduce la confiabilidad. El almacenaje de agua es atractivo para la mayoría de las aplicaciones de bombeo. Sin embargo, ocurren pérdidas considerables por evaporación si el agua se almacena en tanque o depósitos descubiertos. Los tanques cerrados de suficiente capacidad para varios días de servicio de agua pueden resultar costosos. En algunos países no se encuentran estos tanques y, si son importados, puede resultar difícil obtener los medios necesarios para la descarga, transporte e instalación. Finalmente, cualquier sistema de almacenaje de agua es susceptible al vandalismo o a la contaminación.

- Las baterías pueden suministrar una tensión constante al motor de c.c. de una bomba.
- Las tuberías de gran longitud y los dobleces en los tubos aumentan las pérdidas por fricción y reduce la velocidad de flujo del agua.

6.1.4. INSTALACIÓN

Muchas de las fallas de los sistemas de bombeo fotovoltaicos se deben a problemas en la bomba. La fuente de alimentación fotovoltaica tiene una confiabilidad muchos más alta que el subsistema de la bomba y el motor. Una buena instalación del equipo de bombeo aumentará la confiabilidad. A continuación se describen algunas de las medidas que conviene tomar para evitar en lo posible que ocurran averías.

- **Variación de los niveles de agua** El nivel del agua puede variar en un pozo según las estaciones del año, de día en día y, en algunos casos, hasta de hora en hora. Hay informes de que el nivel del agua en pozos rocosos ha bajado hasta 25 metros durante el bombeo. La bomba debe estar instalada de forma que el orificio de entrada siempre esté debajo del nivel del agua. Si la velocidad de relleno del pozo es menor que el flujo máximo de salida por bombeo, se debe instalar un interruptor de nivel o una válvula mecánica para proteger la bomba contra el funcionamiento "en seco". En los tanques de almacenaie se deben instalar interruptores de flotación si la capacidad del tanque es menor que el volumen de agua bombeando diariamente. Así se evitará desperdiciar agua o lo que es peor, averiar la bomba debido a calentamiento excesivo.

- **Proteja la entrada de la bomba** – La arena es una de las principales causas de falla de las bombas. Si el pozo está ubicado en un lugar donde puede penetrar tierra o arena a la bomba, se debe colocar un filtro de arena. La mayoría de las fábricas de bombas suministrar filtros de esta clase o pueden recomendar métodos para reducir el riesgo de daños.

- **Conecte a tierra el equipo** - Las bombas de agua atraen a los rayos debido al excelente paso a tierra que les proporcionan. Si es posible, les proporcionan. Si es posible, no ubique en un terreno elevado el sistema de bombeo. Considere la instalación de varillas pararrayos en lugares más altos alrededor de la bomba.

Para efectuar la conexión a tierra, conecte la estructura de montaje del arreglo, todas las cajas del equipo y un conductor del sistema al revestimiento del pozo (si es de metal) o a un conductor desnudo que baje hasta el nivel del agua. Nunca se debe usar la tubería de la bomba como punto de paso a tierra debido a que esta conexión se interrumpirá cuando se efectúen trabajos de mantenimiento. Se recomienda el uso de movistores para proteger los circuitos electrónicos en las regiones propensas a la caída de rayos.

- **Evitar usar tubería de gran longitud** – Las pérdidas por fricción pueden aumentar considerablemente la carga y, por lo tanto, el tamaño del arreglo fotovoltaico. Las pérdidas por fricción dependen de la dimensión de la tubería , su longitud, el número de dobleces y el caudal. Debido a que la salida de un sistema fotovoltaico independiente está limitado por la potencia, que varía durante el día, es de particular importancia mantener al mínimo las pérdidas por fricción. El rendimiento del sistema de bombeo puede caer casi hasta cero si se sufre una pérdida por fricción muy elevada. Por lo tanto, trate de limitar la pérdida por fricción a menos de 10% de la altura. Esta limitación se puede lograr con el empleo de una tubería de mayor diámetro que la necesaria, la eliminación de dobleces y uniones, y la disminución del caudal. Los datos de dimensiones de tuberías se pueden obtener de las fábricas de bombas.

- **Use tubería de acero** - Se recomienda el uso de tubería de acero en el pozo, especialmente cuando se emplean bombas sumergibles. La tubería plástica se puede romper. Por otra parte, la tubería plástica constituye un medio económico de llevar el agua desde el pozo hasta el tanque de almacenaje o hasta donde sea necesario. Las varillas de succión hechas de fibra de vidrio se pueden usar en pozo con una bomba de gato. Estas varillas son más livianas que las metálicas, son flotantes y se sacan con mayor facilidad para el mantenimiento de la bomba. El diámetro de la tubería debe ser mayor que el del cilindro de la bomba, lo que permitirá cambiar las zapatillas o cueros de la bomba solamente con jalar o tirar de la varilla, sin necesidad de mover la tubería.

- **Proteger los instrumentos de control** – Todos los instrumentos electrónicos de control deben instalarse en cajas resistentes a la intemperie (tipo NEMA 3R o equivalente). Todos los cables deben ser aprobados para uso externo o ser instalados en conductos o tuberías eléctricas. Los cables que se usen parar las bombas sumergibles deben ser apropiados para esa aplicación. Las fábricas de bombas pueden recomendar los tipos de cables para el equipo que se utilice.

- **Proteja el pozo** – Use sellos sanitarios para todos los pozos. Entierre la tubería que va desde el cabezal del pozo hasta el tanque a suficiente profundidad para que la tubería no sufra daños por el tráfico o durante cualquier excavación futura. Marque el lugar por donde pasa la tubería para posible localización en el futuro.

- Las bombas de agua atraen los rayos debido a que proporcionan una excelente conexión a tierra.
- Marque el recorrido de la tubería para posible localización en el futuro

6.2 SISTEMAS HÍBRIDOS

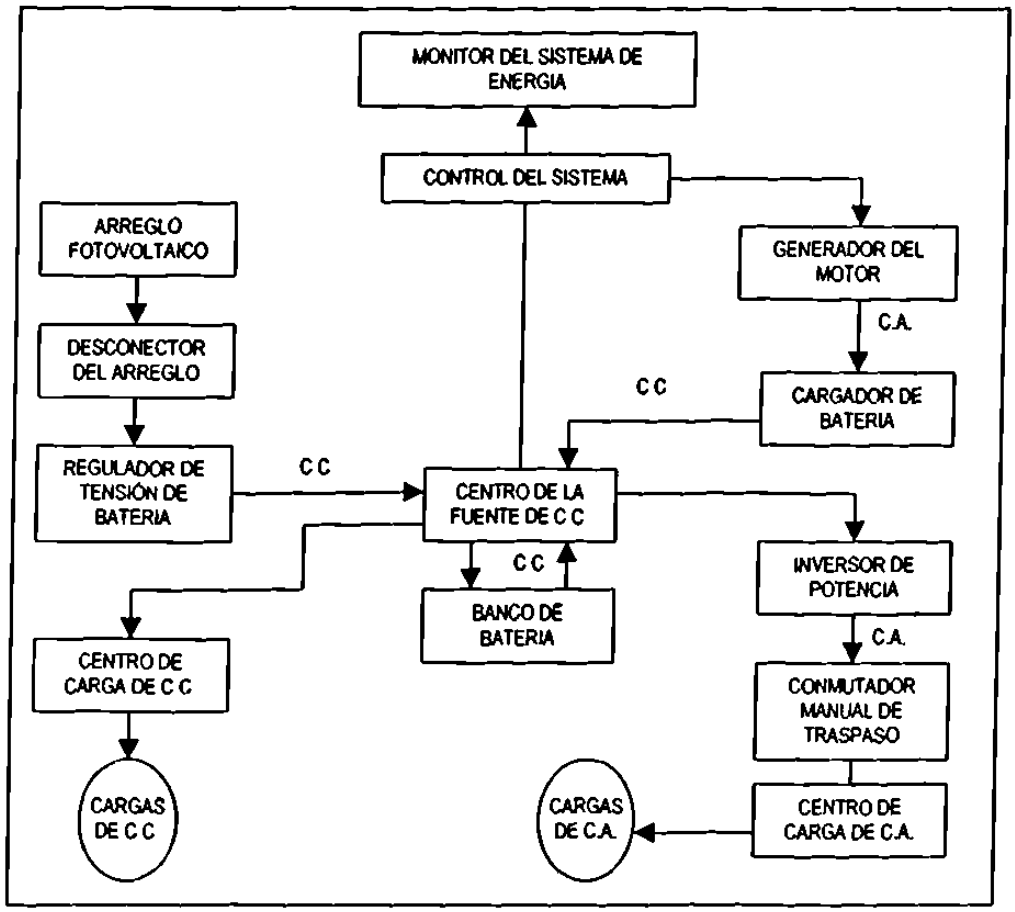
¿Qué ventajas ofrecen los sistemas híbridos?

¿Cómo diseño un sistema híbrido?

6.2.1 USO

Los sistemas híbridos tienen más de un tipo de generación de energía, usualmente un generador accionado por motor de gasolina o diesel y una fuente de energía renovable, ya sea fotovoltaica, viento o hidroeléctrica. El sistema híbrido fotovoltaico con motogenerador es el único tipo que se describe en este manual. Se usa frecuentemente en los grandes sistemas de energía comerciales, tal como para alumbrado de una villa o poblado, sistemas residenciales que ya están provistos de generadores y en aplicaciones tales como telecomunicaciones, donde los requisitos de disponibilidad se aproximan al 100%. Casi todos los sistemas híbridos de generación tienen baterías de almacenaje.

La configuración más común de un sistema híbrido consiste en un arreglo fotovoltaico y generador que se usa para cargar una misma batería. En la figura No. 19 se muestra un diagrama simplificado.



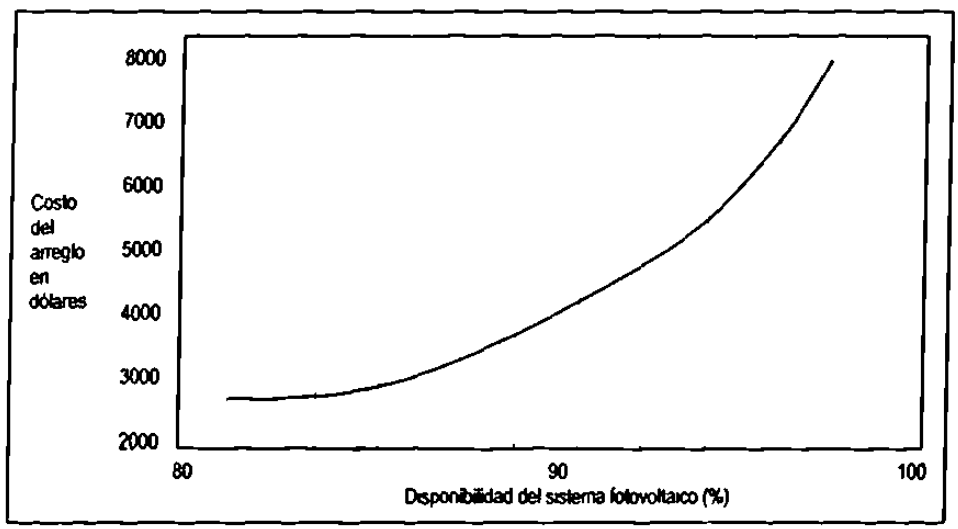
ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO

FIGURA No. 19

Esta configuración tiende a optimizar el uso de ambas fuentes de energía durante la operación normal. En muchos sistemas, el arreglo fotovoltaicos tienen capacidad para suministrar energía a la carga durante condiciones normales. El generador se usa sólo si la radiación solar es muy baja durante varios días seguidos, o si la demanda de la carga excepcionalmente alta. El generador funciona durante un corto período de tiempo cerca de su punto óptimo de operación, típicamente de 80 a 90% de potencia de régimen. Este tipo de funcionamiento reduce el mantenimiento dl generador y los costos de combustible, y además prolonga la vida útil del generador.

Otras ventajas del uso de un sistema híbrido son las siguientes:

- **Mejor economía** – Gran parte del costo de los sistemas fotovoltaicos independientes se debe a la necesidad de proveer suficiente capacidad en los paneles y en las baterías para suministrar la demanda de carga durante las peores condiciones atmosféricas. En muchas aplicaciones, esta potencia adicional (marginal) puede resultar menos costosa si se suministra con un generador. En regiones de clima variable, donde la insolación media en el invierno es de dos o tres veces menor que en el verano, el uso de un sistema híbrido puede ser una buena opción. En la figura No. 20 se indica la forma en que cambia el costo original de la energía fotovoltaica de acuerdo con la disponibilidad de dicha energía. Por ejemplo, la curva de la Figura No. 20 indica que un sistema fotovoltaico con un 90% de disponibilidad costaría aproximadamente $3,600 pero, para alcanzar el 98%, el costo subiría rápidamente hasta más de $8,000. Puede ser más económico suministrar parte de esta potencia marginal con un generador. Sin embargo, la logística y los costos de mantenimiento y combustible puede resultar demasiado alto si los generadores tienen que ubicarse en regiones remotas. Se deben considerar estos factores en cualquier cálculo estimado de costo de los sistema híbridos.



COSTO EN FUNCION DE LA DISPONIBILIDAD DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO NO HÍBRIDO EN UNA AREA CON CLIMA INCLEMENTE

FIGURA No. 20

- **Menor costo inicial** – Un generador accionado por motor cuesta menos que un sistema fotovoltaico de la misma capacidad.

- **Mayor confiabilidad** – Los dos sistemas independientes de generación proveen mayor redundancia y posiblemente una mayor confiabilidad general, si el sistema está mantenido y controlado adecuadamente.

- **Adaptación de diseño** – El diseño de un sistema híbrido depende de la mezcla de cargas entre el generados a motor y el sistema fotovoltaico. A medida que aumenta el tamaño del arreglo fotovoltaico, el tiempo de operación del generador se reduce. Esto ahorra combustible, reduce el mantenimiento y prolonga la vida del generador, pero el costo inicial será mayor que el de un sistema de generación con un arreglo fotovoltaico más pequeño. En un sistema híbrido, el tamaño del banco de baterías generalmente es más pequeño que el de un sistema fotovoltaico independiente diseñado para la misma aplicación. Esto se debe a que el generador estará disponible para mantener el estado de carga de la batería por encima del límite recomendado. Cuando se determine la capacidad de las baterías, asegúrese de que la corriente de carga del generador no exceda la corriente de carga recomendada para la batería (usualmente menos que C/3).

- Para diseños críticos, un sistema fotovoltaico con generador puede ser una buena alternativa.
- Resulta muy costoso obtener hasta el último 5% de disponibilidad de energía con un arreglo fotovoltaico.
- Al ampliar el tamaño del arreglo fotovoltaico aumentará la confiabilidad del sistema híbrido.

6.2.2 CAPACIDAD

El Apéndice B contiene dos hojas de cálculo No. 1HI y No. 2HI, para sistemas híbridos. Los factores principales son:

- Distribución de la carga eléctrica entre arreglo fotovoltaico y el generador.
- Capacidad y tipo de generador.
- Capacidad de la batería.

HOJA DE CALCULO No. 1 HI
SISTEMA HIBRIDO

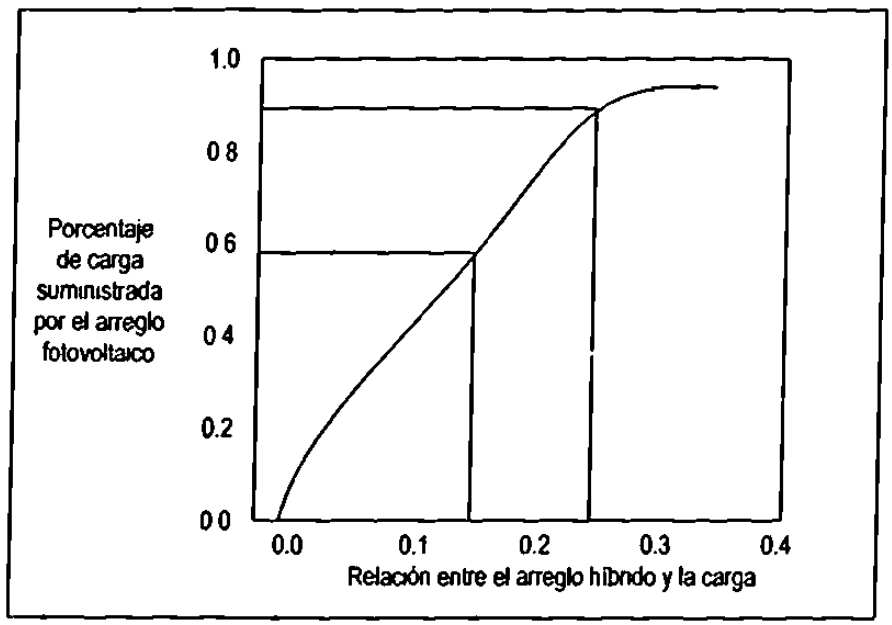
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE LA BATERIA Y EL PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN DE GENERADOR

1Y Carga corregida en amp-horas (AH/DIA) 20	2Y D Días de almacenamiento para el sistema híbrido	3Y D Factor de profundidad máxima de descarga (DECIMAL)	4Y D Factor de corrección de temperatura (DECIMAL)
258	X 4	÷ 0.8	÷ 0.75

8Y Capacidad de batería híbrida (AH) 5Y	9Y D Tiempo de carga de la batería (HORAS)	10Y Régimen de carga máxima de la batería (A)	11Y Tensión nominal del sistema (V) 9	12Y Potencia nominal de carga (W)
1,7204	÷ 8	= 215	X 24	= 5,160

El método para determinar la capacidad asume que ya se ha considerado un sistema fotovoltaico independiente, que se ha estimado la carga de aparatos eléctricos y que se conoce la radiación solar en el sitio. La decisión principal es la distribución de la carga entre los generadores, lo que afecta el costo inicial y el costo de operación y mantenimiento. La selección de la distribución de carga es simplificada mediante el uso del gráfico que se muestra en la Figura No. 21.

El diseñador selecciona una elación entre la capacidad del arreglo híbrido y la carga, teniendo en cuenta que mientras más alta sea la curva, más alto será el porcentaje de la carga alimentada por el porcentaje de la carga alimentada por el arreglo fotovoltaico. La distribución de la carga será un factor determinante en el tipo y tamaño del generador y de la batería. El sistema más económico se obtiene seleccionando un punto en, o ligeramente por debajo de la rodilla de la curva. Por ejemplo, una relación de capacidad híbrida a carga de 0.25 debe resultar en el diseño de un sistema híbrido donde el arreglo fotovoltaico suministra el 90 % de la demanda anual de la carga



CURVA DEL ARREGLO GENERADOR

FIGURA No. 21

Una relación de 0.15 daría un sistema con un costo de carga alimentada por el arreglo fotovoltaico sería sólo el 57%. El generador funcionaría más en este último caso, con el correspondiente aumento de los costos de combustibles y mantenimiento.

Si el generador está instalado en un sitio remoto, el costo de mantenimiento podría resultar exorbitante. Estos son los compromisos de diseño que se deben estudiar cuidadosamente.

Si se requiere alta confiabilidad, debe diseñarse el sistema para proporcionar un 90 a 95 por ciento de contribución fotovoltaico. El generador se usa solamente como respaldo durante las peores condiciones, por lo general en los meses de invierno cuando es más difícil arrancar el generador. Por tanto, al tener fuentes de potencia en dos sitios desatendidos no garantizan por sí mismos, un 100 por ciento de confiabilidad. El sistema de control debe diseñarse adecuadamente para una operación libre de fallas con un mantenimiento regular, especialmente en el generador. Asimismo, el sistema de control de un sistema híbrido es mas complejo debido a la regulación de las baterías y la carga que deben mantenerse bajo las condiciones de operación.

Todos los generadores necesitan mantenimiento periódico de rutina (i,e,, cambio de aceite, afinación del motor, y eventualmente su reconstrucción completa). El diseñador debe siempre revisar cuidadosamente los requerimientos de servicio del generador (ver la Tabla No. 7), de los cuales depende el tiempo de funcionamiento y por tanto afecta la contribución de energía eléctrica del generador al sistema híbrido. En una estación de microondas remota sin operación manual, sería deseable que el cambio de aceite de mantenimiento fuera de intervalos de un año. En cambio, el propietario de un sistema doméstico de potencia está más dispuesto a hacer esta rutina de mantenimiento una vez por mes. El tipo de generador y el porcentaje de la demanda de la carga depende de todos estos puntos.

TABLA 7 INFORMACIÓN DEL GENERADOR						
TIPO	RANGO DE TAMAÑO (kW)	CAMBIO DE APLICACIONES	COSTO ($/W)	INTERVALOS DE MANTENIMIENTO LIMPIEZA		RECONSTRUCCIÓN DEL MOTOR (HORAS)
Gas* (3,600 rpm)	1 – 20	Cabañas Uso ligero	0.5	25	300	2,000 – 5,000
Gas (1,800 rpm)	5 – 20	Residencial Uso pesado	0.72	50	300	2,000 – 5,000
Diesel	3 -100	Industrial	1.00	125 - 750	500 – 1,500	6,000

* Gasolina, propano o gas natural

Con un generador disponible para energía de respaldo, el tamaño de la batería en el sistema híbrido puede reducirse sin bajar la disponibilidad del sistema. Sin embargo, debe seleccionarse cuidadosamente el tamaño de la batería de acuerdo con las cargas y fuentes de potencia. Para aumentar la vida de la batería, el diseñador debe usar un controlador confiable para proteger a la batería más pequeña y prevenir ciclados frecuentes o excesivas profundidades de descarga. Las baterías deben tener suficiente capacidad para proporcionar una potencia pico máxima necesaria para la carga y aceptar la corriente de carga máxima proporcionada por el generador.

La capacidad de descarga de la batería está en función de su tamaño y el estado de carga. Las baterías que se descargan rápidamente tiene caídas de voltaje y pueden desactivar a los inversores un factor de descarga de 5 o más. Así como el factor de carga, este número se da en relación a la capacidad nominal, C de la batería, i.e., una batería de 100 amperios-hora no debe descargarse a más de 20 amperes en un largo período.

Por otra parte, las baterías deben tener suficiente capacidad para aceptar la corriente de carga máxima del generador /cargador y del sistema fotovoltaico. De no ser así, las altas corrientes pueden dañar a la batería. De no ser así , las altas corrientes pueden dañar a la batería. Hay muy pocas baterías que aguanten una tasa de carga mayor a C/3 amperio.

- El sistema fotovoltaico es un cargador lento de batería, mientras que el generador es un cargador de gran rapidez.
- La capacidad de la batería se puede disminuir si se dispone de un generador.
- El tamaño de la batería puede reducirse si hay disponible un generador.

6.2.3 SELECCIÓN DEL GENERADOR

La selección del tamaño y tipo de generador es crítica para un buen diseño de un sistema híbrido. En la Tabla No. 8 se proporcionan varios tipos de generadores con sus tamaños, aplicaciones y su costo por Watt aproximado. El generador portátil de uso ligero es la opción menos cara para una pequeña carga intermitente donde la confiabilidad no es un factor crítico. Para sistemas industriales con altas necesidades de confiabilidad se recomienda un generador estacionario de uso pesado. Al seleccionar el tipo de generador deben tomarse en cuenta varias consideraciones:

TABLA 8
INFORMACIÓN DE GENERADORES

TIPO	RANGO DE TAMAÑO (kW)	CAMBIO DE APLICACIONES	COSTO ($/W)
Gas* (3,600 rpm)	1 – 20	Cabañas Uso ligero	0.5
Gas (1,800 rpm)	5 – 20	Residencial Uso pesado	0.72
Diesel	3 -100	Industrial	1.00

* Gasolina, propano o gas natural

- **Tamaño y naturaleza de la carga** – Considere el tamaño de la carga, necesidades de arranque y el tiempo de funcionamiento del generador

- **Tipo de combustible** – Debe considerar la disponibilidad del combustible, su manejo y necesidades de almacenamiento, también los factores ambientales como la temperatura y la posibilidad de contaminación. Los combustibles de gas propano o GLP son una excelente opción para muchas residencias remotas debido a que se encuentran disponible en muchas partes, no requiere de manejo por parte del propietario, se almacenan muy fácilmente y es excelente para el arranque del motor en climas fríos. Aunque el diesel está ampliamente disponibles, hay posibilidades de provocar contaminación, además conduce a dificultades en el arranque en climas fríos.

- **Velocidad de funcionamiento del generador** – Seleccione una velocidad de generador adecuada para el tiempo de vida esperado. Si el generador se usa sólo ocasionalmente para cargar un banco de baterías, es suficiente con una unidad de 3,600 rpm. Si se va a usar el generador más de 400 horas al año, se recomienda una unidad de menor velocidad como de 1,800 rpm.

- **Compatibilidad con los controles** – Revise las especificaciones del generador sobre el control de operación y determine si el generador puede integrarse a un sistema central de control. Con frecuencia, los grandes generadores incluyen sistemas de control para evitar que el generador arranque o funcione cuando hay posibilidad de una falla; por ejemplo, cuando la presión del aceite es baja.

Cuando se calcula el tamaño del generador, la principal consideración debe ser la eficiente de operación. Los generadores operan con más eficiencia cuando su producción es muy cercana a su capacidad nominal. Su eficiencia puede caer en 50 por ciento o más cuando operan a bajas cargas. Eso trae como resultado gastos más altos de mantenimiento y una vida más corta. Seleccione el tamaño del generador para que proporcione la corriente necesaria para operar las cargas y cargar eficientemente la

batería. Deben tomarse en cuenta las pérdidas de potencia en el cargador de la batería y las pérdidas debido a condiciones ambientales y tipo de combustibles. La capacidad del generador para proporcionar energía bajo condiciones de la corriente necesaria para arrancar la carga, el tiempo de funcionamiento, consumo de combustible a la eficiencia deseada y los requisitos de mantenimiento bajo condiciones reales (considerando la temperatura, altitud, polvo, humedad y contaminación). Esta información se incluye en las especificaciones del generador y el cargador de la batería.

- La eficiencia cae rápidamente si el generador opera a bajas cargas.

6.2.4 CONTROL

La integración de un generador en un sistema fotovoltaico requiere de una estrategia de control más sofisticada. La mayoría de los controladores se diseñan a la medida por un ingeniero o técnico en electrónica con experiencia. Los controles para los sistemas FV-generador efectúan dos funciones principales – regulación de la batería y manejo del subsistema. La regulación de la batería es la misma del sistema de control de un sistema FV independiente, donde las baterías deben protegerse contra las cargas y descargas excesivas. El manejo del subsistema del generador, arreglo fotovoltaico y las cargas se encargan de arrancar o detener el generador , así como conectar o desconectarlas cargas o porciones del arreglo FV. Finalmente, podría desearse que se enciendan alarmas, ya sea en el mismo sitio o por una conexión telefónica, en caso de una falla en el sistema, o proporcionar una carga de igualación a las baterías automáticamente. Recuerde, mientras más se requiere del sistema de control, más alto será el precio y mayor la posibilidad de fallas.

- La mayoría de los subsistemas de control se hacen a la medida de los sistemas híbridos.