

CURSO

Electricidad de edificios

Instalaciones de energía fotovoltaica
en edificios

módulo **6**

unidad **3**

Componentes de las instalaciones Fotovoltaicas (II)



GRUPO FONDO FORMACIÓN

ELECTRICIDAD DE EDIFICIOS

EDITA: Grupo Fondo Formación, A.I.E.

DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN: Dirección de departamento de Programas. Fons Formació Zona Mediterrània SLL

COLABORAN:

Marta Listo Aparicio
Marcos Alonso Santiago
Alba Calderón Algaba
Inmaculada Subirana Milian

DEPÓSITO LEGAL: SE-999-07

Recomendada la impresión en Papel Reciclado



Copyright: © 2007. Grupo Fondo Formación

Todos los derechos reservados.

Esta publicación tiene fines exclusivamente educativos.

Queda prohibida la venta de este material a terceros, así como la reproducción total o parcial de sus contenidos sin autorización expresa de los autores y del Copyright.

El uso del lenguaje que no discrimine ni marque diferencias entre mujeres y hombres forma parte del ideario del Grupo Fondo Formación. Por ello, en la redacción de este material didáctico se ha optado por el uso de términos genéricos, evitando el uso tradicional del lenguaje que emplea el masculino como genérico. En los casos en los que se emplea el masculino genérico clásico, se entenderá que hace referencia siempre a mujeres y hombres.

Objetivos

- Conocer las partes y el funcionamiento del cerebro de la instalación; el control de carga
- Entender el funcionamiento del control de carga así como unas nociones de su programación
- Familiarizarse con los tipos de cables existentes en el mercado y sus características
- Entender y conocer los componentes auxiliares de una instalación

Presentación

En esta unidad daremos a conocer todos los componentes necesarios para montar una instalación solar fotovoltaica, así como explicaremos el principio de funcionamiento de cada uno de ellos, dando también sus características, funciones y limitaciones. Es una de las partes más densas de este tema, pero también de las más importantes, porque es básico conocer con que componentes trabajamos.

- Contenidos
- Control de carga
- Cables de conexión
- Componentes auxiliares

1. Control de carga

1.1 Funciones del control de carga

Durante la noche el voltaje de salida de los paneles FVs es nulo. Al amanecer, atardecer o en días nublados, el nivel de insolación es bajo y los paneles no pueden cargar las baterías. En este último caso el control de carga cumple un rol pasivo, aislando el banco de acumulación del bloque de generación, evitando su descarga. Cuando la insolación aumenta, el voltaje de los paneles supera al del banco de baterías y el proceso de carga se reanuda. Es entonces cuando el control de carga tiene un rol activo, evitando una gasificación excesiva del electrolito.

1.2 Selección del control de carga

La selección de un control de carga está determinada por los parámetros eléctricos del sistema (voltaje y amperaje de trabajo), los detalles de diseño (uno o más bloques de carga, tipo de batería y montaje mecánico más conveniente) y por las opciones ofrecidas por el fabricante (funciones auxiliares). En este capítulo analizaremos estos detalles, complementando la información con ilustraciones y especificaciones para algunos de estos controles.

Controles en serie i en paralelo

Los numerosos modelos ofrecidos en el mercado pueden ser agrupados en dos categorías: controles en serie y controles en paralelo. Esta clasificación está relacionada con el paso que toma la corriente de carga, respecto al banco de baterías, cuando el control comienza a restringir la gasificación.

En un control en paralelo, cuando el voltaje de batería alcanza un valor predeterminado (batería cargada), la corriente de los paneles es desviada a un circuito que está en paralelo con el banco de baterías.

Cuando el voltaje de batería baja por debajo de un valor mínimo, predeterminado por el fabricante, el proceso de carga se restablece nuevamente.

Máxima corriente de carga

Tanto en el control paralelo, como en serie, el máximo valor de la corriente de carga está determinado por la diferencia entre el voltaje de salida de los paneles y el de baterías. En el control en paralelo la corriente de carga existe o se anula totalmente. En el control en serie, dependiendo del diseño, se tiene un proceso similar o de valor variable. Más adelante se describen varios criterios de diseño para controles de carga serie.

Carga resistiva

Los primeros controles de carga eran del tipo paralelo y ejercían un control muy rudimentario. Cuando el voltaje de batería alcanzaba un valor considerado como el de carga completa, la corriente de los paneles era desviada a un circuito en paralelo, el que tenía una resistencia fija (*dummy load*, en inglés). Esta disipaba, en forma de calor, la energía eléctrica proporcionada por el bloque de generación. La Figura 1 ilustra este tipo de control.

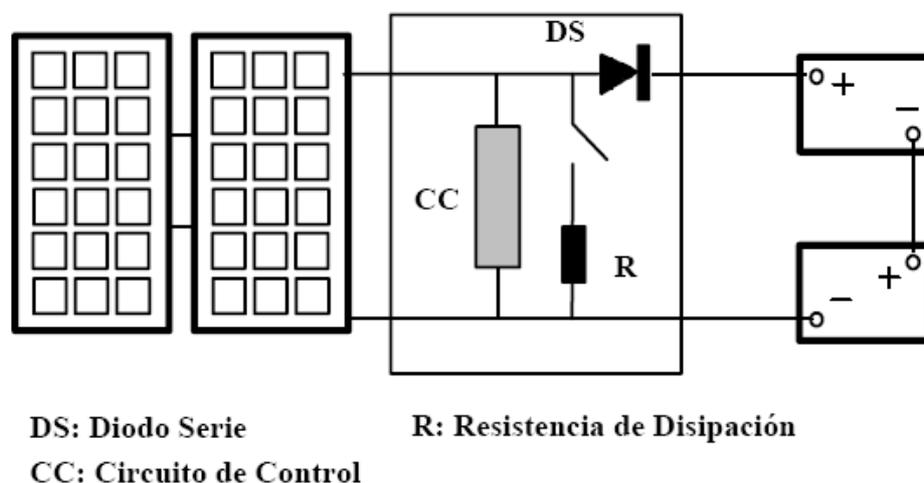


Fig. 1: Control de carga en paralelo con resistencia disipadora

Estas dos características permiten establecer un efectivo cortocircuito de salida, minimizando la disipación por calor dentro del semiconductor. La figura 2 muestra, en forma esquemática, este tipo de control. El FET está representado por un interruptor.

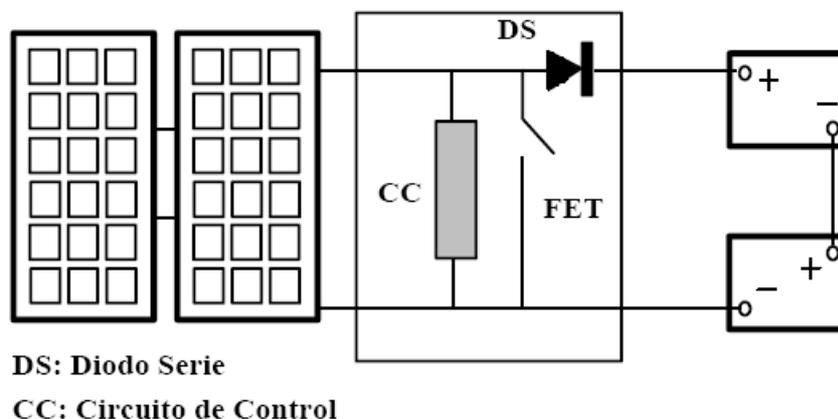


Fig.2: Control de carga paralelo (con MOS-FET)

Diodo serie

Este control de carga tiene una desventaja que le es inherente: el banco de baterías debe ser aislado del cortocircuito. El diodo serie (DS en las Figuras 1 y 2) cumple con esa función. Esto provoca una disminución en el voltaje de carga, así como una pérdida de energía (disipación de calor dentro del diodo). Para disminuir ambos valores se utilizan diodos del tipo Schottky.

Este tipo de componente tiene una juntura formada por un semiconductor y un metal (*hot carrier diode*, en inglés). El resultado es un diodo con menor voltaje de trabajo (0,3V en lugar de 0,6V). Para el mismo valor de corriente de carga, las pérdidas se reducen a la mitad. Uno de los fabricantes que ofrecen este tipo de control es SunAmp Power Co.

Protección interna

El control serie, ilustrado en forma esquemática en la Figura 3, elimina la necesidad de un diodo en serie, ya que la apertura del interruptor aísla al banco de baterías de los circuitos que le preceden.

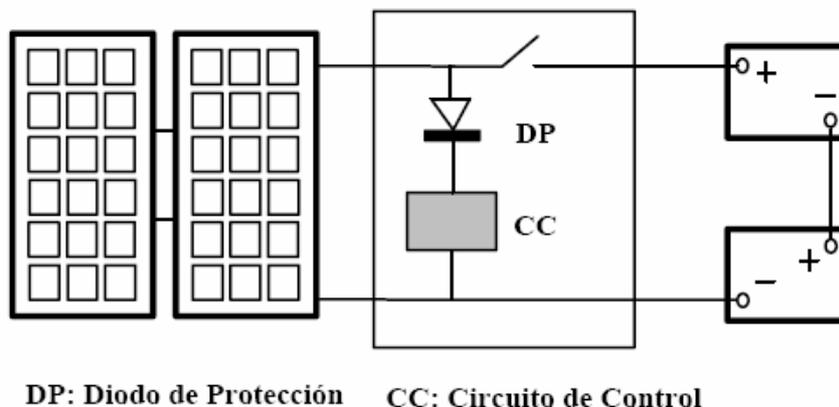


Fig. 3: Control de carga serie

Consumo interno

El circuito de control está alimentado por los paneles FVs, pero la potencia que requieren representa sólo un pequeño porcentaje del valor manejado por el control, como lo muestran las especificaciones incluidas en este capítulo. Durante la noche, o durante períodos de baja insolación, el control serie se abre, a fin de aislar al banco de baterías cuando éste no puede ser cargado.

Criterios de diseño

Existen diferentes criterios de diseño para los controles en serie, dependiendo de lo que el fabricante considera el control óptimo de la corriente de carga. Sin embargo, en todos ellos existen dos características que les son comunes: a) alternan períodos activos de cargas con períodos de inactividad; b) la acción del circuito de control depende del estado de carga del banco de baterías. Durante el período activo algunos modelos usan un voltaje de carga de valor constante, mientras que en otros este valor está limitado por la diferencia de voltaje entre los paneles y las baterías.

Voltaje de flotación

Para los modelos que usan un voltaje de carga limitado, éste representa un estado de carga de baterías de alrededor del 90 al 95% del máximo. A este voltaje se lo conoce como voltaje de flotación, ya que nunca sube su nivel. A medida que el voltaje de batería se acerca al de flotación, la corriente de carga disminuye hasta que se anula al abrirse el interruptor en serie. Cuando esto ocurre, el voltaje de bate-

ría baja. Cuando alcanza un mínimo de diseño, el interruptor se cierra, repitiéndose la secuencia.

Cuando la baja de voltaje es despreciable (batería cargada) el control permanece abierto. El valor del voltaje de flotación, dependiendo del modelo, puede ser fijo (determinado por el fabricante) o ajustable por el usuario, dentro de un reducido rango. Esta última opción puede ser útil si se tiene instrumental de medida adecuado para el ajuste y se conoce en detalle las características de la batería(s).

Corriente máxima de trabajo

El control de carga debe manejar, como mínimo, la máxima corriente de generación. Para un control paralelo, el interruptor deberá manejar, asimismo, la máxima corriente de cortocircuito de los paneles. Los controles de carga ofrecidos por la industria pueden manejar corrientes entre 2 y 180A. A pedido pueden obtenerse unidades que trabajan con mayores amperajes de carga.

Sistemas de alta corriente de carga

Si un sistema FV tiene un valor de corriente de carga que excede los 100A, es conveniente en este caso agrupar los paneles generadores en secciones. Cada grupo tendrá un menor amperaje de carga, permitiendo el uso de un control estándar. Las salidas de los controles deben ser conectadas en paralelo para restaurar el valor de la corriente total de carga, como se muestra en la Figura 4, donde, para simplificar el diagrama, sólo se muestra un trazo para los dos cables de conexión.

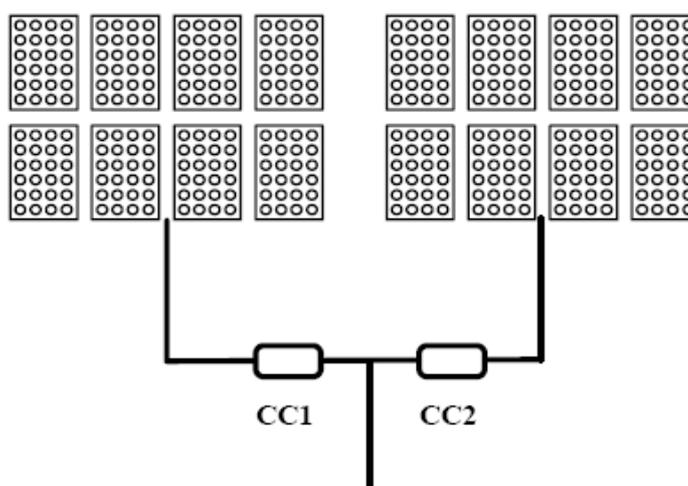


Fig. 4: División de la corriente de carga

Interruptor mecánico y de estado sólido

El máximo valor que puede alcanzar la corriente de carga determina, en la práctica, el tipo de interruptor más adecuado para esa aplicación. Para corrientes menores que los 10A, la solución más económica se obtiene usando un relevador electromecánico (*relay*, en inglés). Cuando la corriente de carga es de 20 o más amperes, deberá requerirse información del fabricante sobre la vida útil del interruptor.

Para niveles más altos es conveniente usar los modelos con interruptores de estado sólido. La razón para este criterio de selección se analiza a continuación. Como la corriente de carga es de CC, la apertura de los contactos del relevador crea un arco eléctrico entre los mismos, cuya intensidad crece al crecer el valor de la corriente que circula por el mismo. Este arco daña progresivamente la superficie de los contactos. En un interruptor de estado sólido (FET) no existe arco alguno, lo que extiende la vida útil del mismo.

Régimen de uso i vida útil

Para prolongar la vida útil de un relevador electromecánico se necesita disminuir la densidad de corriente en los contactos (A/mm^2). Es por ello que se aconseja elegir un control a relevador capaz de controlar entre 1,5 y 2 veces el valor de la máxima corriente de carga.

Voltaje máximo de trabajo

El número de paneles conectados en serie, así como el máximo valor que puede alcanzar el voltaje de salida del panel (circuito abierto), determinan el mínimo voltaje de trabajo del control de carga. Es común que el fabricante provea un margen de seguridad para la unidad, diseñándolos para soportar voltajes en exceso del valor nominal del sistema. Los dos voltajes más popularizados son 12 y 24V. A pedido, pueden obtenerse unidades que trabajan a mayores voltajes (múltiplos de 12).

1.3 Máximo voltaje de entrada

Hay dos tipos de especificaciones para el máximo voltaje tolerado a la entrada del control de carga. Una establece un voltaje máximo, el que no puede ser sobrepasado. La otra ofrece protección automática contra sobre-voltajes de entrada. Este último tipo de protección es posible con el uso de componentes que varían su resistencia interna

en **función del voltaje aplicado** (varistores). Este componente está conectado en paralelo con la entrada del control.

Cuando el voltaje de entrada es el normal (valor nominal del sistema más un por ciento de reserva), el varistor ofrece una muy alta resistencia interna, comportándose como un componente "fantasma". Cuando el voltaje de entrada excede un determinado valor, la resistencia interna se hace prácticamente nula, cortocircuitando la entrada. Las tormentas eléctricas inducen altos valores de voltaje a la entrada de los controles. La presencia de varistores permite la absorción de la energía representada por ese cortocircuito.

Situaciones especiales

El proceso de selección del control de carga debe, a veces, contemplar situaciones algo inusuales. Una de ellas se presenta cuando se tiene un cielo claro que tiene algunas nubes pequeñas y aisladas entre sí. El borde de una de estas nubes puede actuar como una superficie reflectora, aumentando imprevistamente el nivel de radiación solar que reciben los paneles. Si esto ocurre, el voltaje de carga se incrementa, lo que a su vez incrementa la corriente de carga, pudiendo causar la destrucción del control de carga.

Por ello es importante una protección adecuada para el voltaje de entrada del control elegido, y una razón más para elegir un modelo con amplia capacidad para la corriente de carga.

Otra situación especial se presenta cuando se quiere ampliar un sistema existente. Si bien se pueden conectar dos o más controles en paralelo, si al diseñar el sistema original se anticipa la posibilidad de una ampliación futura, es conveniente conectar al sistema un control de carga que pueda manejar la corriente del sistema ampliado.

1.4 Control de temperatura

Hemos visto que el voltaje de carga de una batería de Pb-ácido depende del estado de carga y la temperatura del electrolito (cercana a la ambiente cuando se alcanza un equilibrio térmico). Si se anticipa sensibles cambios térmicos en el lugar donde se instalarán las baterías, deberá contemplarse el uso de un control de carga con sensor térmico, el que permite variar el voltaje de carga en función de la temperatura.

1.5 Sensores

Sensores externos

El sensor usa un termistor. Este componente cambia su resistencia con la temperatura. Estas variaciones de resistencia son interpretadas por el circuito del control de carga, el que actúa variando el valor del voltaje de salida. Existen dos tipos de sensores, el externo y el interno.

Este sensor está ubicado dentro de una cápsula metálica, la que tiene una prolongación perforada que permite el fácil montaje del sensor al borne negativo de una de las baterías. Como el electrolito y el borne alcanzan la misma temperatura, esta realización permite un fácil monitoreo de la temperatura del electrolito. El control de carga con corrección de temperatura tiene un cable extra a la entrada del mismo.

Sensores internos

Cuando el termistor está colocado dentro del control (Sun Amp), este cable extra no existe, pues la conexión es interna. Como el sensor está dentro del control, se debe colocar al control de carga de manera que la parte inferior del mismo toque la superficie de la batería, a fin de monitorear adecuadamente la temperatura de la misma. Esto puede conseguirse sosteniendo al control con algunas vueltas de cinta aisladora alrededor del cuerpo de la batería.

1.6 Opciones

Ecualización

El proceso de ecualización se aplica a baterías que están sulfatadas o corren ese riesgo. El método es correctivo y consiste en someter a las baterías a una corriente de carga igual al máximo de su especificación. Este requerimiento significa que esta opción sólo es práctica en sistemas FVs capaces de generar altos niveles de corriente de carga.

Desvío de la corriente de carga

Si el sistema FV produce más energía que la que se consume, las baterías llegan a ser cargadas a su máximo. En ese caso puede elegirse un control de carga que posee una salida extra, conocida como des-

vío (Divert, en inglés). Debe recordarse que este circuito tiene una capacidad menor, y, en general, no tiene fusible de protección interno. De usarse, incorpore un fusible de protección a fin de no dañar a la unidad de control. La Figura 5 muestra una unidad de este tipo. (Cortesía de Bobier Electronics, Inc.)

Otras opciones

Una opción muy útil es la que provee una salida capaz de activar una alarma exterior cuando el voltaje de baterías alcanza un mínimo indicativo de un bajo nivel de reserva. A esta salida se la conoce, en inglés con el nombre *LB Alarm* (Figura 6). Las opciones descritas no son las únicas. Sin entrar en detalles mencionaremos algunas otras: Selección automática del voltaje de carga del control, Luces indicadoras de la función que está ejecutando el control, Voltímetro y amperímetro incorporado a la unidad

1.7 Diseño mecánico

El diseño mecánico del control de carga debe facilitar el montaje de la unidad a un soporte y el conexionado de la unidad al resto del sistema. Independientemente del tamaño de la unidad, ésta deberá tener aletas perforadas que hagan posible el uso de tornillos para su retención al sostén. Verifique que la posición de montaje no altera el comportamiento de la unidad. La caja que contiene a la unidad debe proveer protección ambiental adecuada.

Cables y bornes de conexión

Controles que manejan hasta 18A son ofrecidos con cables de entrada y salida. Modelos que manejan un alto amperaje (más de 30A), deberán tener terminales de entrada y salida que posean la suficiente robustez mecánica para permitir un amarre seguro de los cables de alta corriente, sin destruir su integridad y con baja resistencia eléctrica.

Nunca compre el control antes de haber determinado el calibre del cable que va a usar en el sistema, de manera de asegurarse que los terminales son adecuados.

Temperatura de trabajo

Todos los componentes sufren con el calor, el que acorta la vida útil de los mismos. Al elegir una unidad de control que fácilmente mane-

je el amperaje del sistema contribuye a disminuir el calor por disipación interna. Una adecuada ubicación, evitando el sol directo sobre la unidad evita un excesivo calor externo.

2. Cables de conexión

2.1 Material

Material conductor óptimo

El cable de conexión representa el componente indispensable para el transporte de la energía eléctrica entre los diferentes bloques que integran un sistema FV. Resulta inevitable que parte de esta energía se pierda en forma de calor, ya que la resistencia eléctrica de un conductor nunca es nula. El material más indicado para la fabricación de un cable conductor representa un compromiso entre un bajo valor de resistividad y el costo del mismo. El cobre ofrece hoy día la mejor solución. La información contenida en este capítulo está dada para este tipo de material.

2.2 Resistencia de un conductor

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

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Donde ρ (rho) representa el valor de resistividad lineal ($\Omega \cdot m$), L es el largo del conductor (m), y S es el área de la sección del mismo (m^2). El valor de ρ depende de dos variables: el material conductor y la temperatura de trabajo que éste alcanza. La expresión anterior indica que para un dado material conductor y temperatura (constante), si el valor del área A permanece constante, el valor de la resistencia aumenta con su longitud.

 **ejemplo**

Vamos a calcular la superficie de un cable conductor que tiene una resistividad de $5\Omega \cdot m$, una longitud de $0,5m$ y una resistencia de 200Ω .

$$S = (\rho \cdot L) / R = (5\Omega \cdot m \times 0,5m) / 200\Omega = 0,0125m = L$$

De igual manera puede deducirse que si ρ y L permanecen fijos, la resistencia del conductor se reduce si el área de su sección aumenta. La mayoría de los cables utilizados en instalaciones eléctricas tienen una sección circular. Cuando el área del conductor aumenta, también lo hace su diámetro. Por lo tanto, para una dada longitud, un aumento en el diámetro significa una menor caída de voltaje en el cable (menores pérdidas de energía), pero un mayor costo (más volumen por unidad de longitud).

2.3 Diámetros

Norma AWG

La dependencia entre el diámetro y el área del conductor permite establecer un método de clasificación para los cables. A determinados diámetros se les asigna un número en una escala arbitraria, al que se conoce como el calibre del conductor.

Esta escala se la conoce como el AWG (*American Wire Gauge*, calibre americano para conductores), y es utilizada dentro y fuera de los EEUU. El rango de calibres para nuestra aplicación comienza con el calibre 4/0 (4 ceros), al que corresponde el mayor diámetro. El número de ceros disminuye hasta alcanzar el valor 1/0. A partir de este valor el calibre del cable está asociado a un valor numérico creciente (2, 4, 6, etc).

Es importante recordar que para estos calibres el diámetro del conductor se reduce cuando el valor numérico asignado aumenta. Para nuestra aplicación el máximo valor numérico que se utiliza es el 16, ya que la resistencia eléctrica por unidad de longitud resulta excesiva para calibres superiores a este valor. Los calibres 4/0 y 3/0 son raramente usados, pues son difíciles de instalar, tienen un elevado peso por unidad de longitud y un costo muy elevado.

Diámetros relativos

La Figura 7 muestra, en forma comparativa, los diámetros de varios de los calibres AWG. Las características eléctricas y mecánicas de los mismos están resumidas en la Tabla 6, al final de este capítulo. El diámetro en mm especificado para cada calibre corresponde al del conductor sin aislante alguno. Los valores resistivos, ohms por cada 100m, corresponden al valor de ese calibre a una temperatura de 25°C.

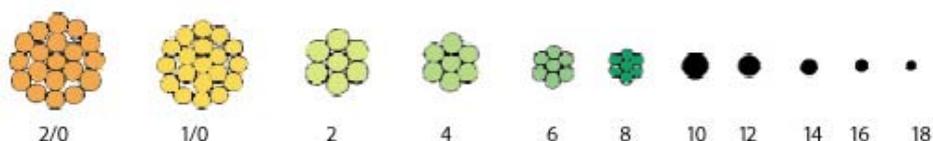


Fig. 5: Diámetros relativos de varios calibres.

Conductor sólido y multialambre

Existen dos tipos de conductores: el de un solo alambre (*wire*, en inglés) y el multialambre (*cable*, en inglés). Los calibres de mayor diámetro no pueden tener un solo conductor pues su rigidez los haría poco prácticos. Es por ello que los cables con calibres entre el 8 y el 4/0 son fabricados usando varios alambres de menor diámetro, los que son retorcidos suavemente para que conserven una estructura unificada. La Figura 7 muestra estos dos tipos. Dos cables de un calibre, conectados en paralelo, es otro recurso práctico para incrementar el área efectiva de conducción.



Fig. 6: Conductor sólido y multialambre.

La norma define, para cada calibre, el valor de la corriente máxima, en amperes, que es permitido por el código eléctrico de los EEUU

(*ampacity*, en inglés). Este valor no debe ser sobrepasado, por razones de seguridad (excesiva disipación de calor).

Amperaje máximo

Los cables usados en instalaciones eléctricas tienen, salvo raras excepciones, una cobertura exterior que provee aislación eléctrica y resistencia mecánica al conductor. El material usado en la cobertura exterior es muy importante, pues determina el uso del mismo.

Distintos tipos de coberturas permiten enterrar el cable bajo tierra, usarlo en lugares con alta humedad y/o temperatura, o volverlos resistentes a ciertas sustancias químicas o a la radiación ultravioleta. Para identificar las distintas aplicaciones se usan letras, las que representan la abreviación de palabras en inglés. Estas letras se imprimen a intervalos especificados por las normas, a lo largo de la cubierta exterior.

2.4 Tipos de cables

Tipos NM y NMC

Para uso interno, como es el caso dentro de las casas, se usa el tipo NM (*Non-Metalic*, cobertura no metálica). Este tipo de cable tiene una cobertura de plástico que envuelve a dos o tres conductores. Cuando hay tres cables bajo la misma cobertura, dos de ellos tienen aislación, mientras que el tercero es un alambre desnudo. En los EEUU el cable de tres conductores tipo NM se lo conoce, popularmente, como cable ROMEX.

Como estos cables son comúnmente usados en circuitos de CA, uno de los cables tiene aislación de color negro, el otro blanca. Estos dos colores conforman con la norma estadounidense para el cable vivo y el neutral, respectivamente. La Figura 8 muestra un cable del tipo USE con un solo conductor.

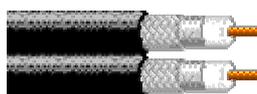


Fig. 7: Cable tipo USE

Cables del tipo THW (*Temperature-Humidity-Weather*, temperatura, humedad, clima) sirven para uso a alta temperatura (expuestos al sol) o en lugares con alto nivel de humedad ambiente. El tipo TH es simi-

lar, pero no es aconsejable en lugares con alta humedad ambiente. Algunas versiones tienen el recubrimiento aislante resistente a la radiación ultravioleta, retardando el deterioro de la cobertura aislante. Pueden utilizarse en aplicaciones exteriores, pero no pueden ser enterrados directamente en el suelo como los tipos USE o UF.

2.5 Resistencia y temperatura

Resistencia y temperatura

Hemos visto que el valor de la resistividad (Ω) depende de la temperatura de trabajo del conductor. El valor de la resistencia eléctrica de un cable conductor a una temperatura superior a los 25° C viene dada por la expresión:

$$R_T = R_{25^\circ\text{C}} \cdot [1 + (\alpha \cdot \Delta T)]$$

Donde R_T es la resistencia a la temperatura T , α es un coeficiente de proporcionalidad cuyo valor, para el cobre, es 0,00043 1/°C, y ΔT es la cantidad de grados que la temperatura de trabajo del conductor supera los 25°C.

Esta fórmula nos dice que por cada 10°C que sube la temperatura sobre la ambiente, el valor de la resistencia se incrementa en un 4,3 %. El amperaje máximo especificado para un determinado calibre disminuye con la temperatura, como lo muestra la Tabla 1. El nuevo valor se obtiene multiplicando el valor para 25°C por el coeficiente dado en la Tabla 1.

Temperatura	Tipo de cable	
	UF	USE, THW, TW
Grados °C		
26-30	0,93	0,93
31-35	0,84	0,87
36-40	0,76	0,81
41-45	0,66	0,76
46-50	0,54	0,69
51-55	0,38	0,62

Tabla 1. Coeficiente de reducción de amperaje máximo

ejemplo

Para un cable conductor de cobre que tenga a 25°C una resistencia de 10Ω. Su nueva resistencia a una temperatura de 40°C será de:

$$R_T = R_{25^\circ C} \cdot [1 + (\alpha \cdot \Delta T)].$$

$$R_T = 10\Omega \cdot [1 + (0,00043^\circ C^{-1} \cdot 15^\circ C)] = 10,0645\Omega = R_{40^\circ C}$$

Pérdidas de potencia

Un circuito activo (corriente circulando) sufre una pérdida de potencia en los cables que interconectan el sistema. Para un determinado valor de la corriente de carga, esta pérdida es proporcional a la caída de voltaje en los mismos. Como se verá más adelante, durante el proceso de diseño del sistema se estima la pérdida porcentual de potencia que éste sufrirá. Esto equivale a estimar el mismo valor porcentual para la caída de voltaje.

Usando este concepto, los Srs. John Davey y Windy Dankoff dedujeron una fórmula que permite calcular un llamado “**Índice de Caída de Voltaje**” (ICV) que puede ser utilizado para determinar el calibre

adecuado del cable a usarse. El valor del ICV está dado por la expresión:

$$ICV = \frac{A \cdot D}{(\%CV) \cdot (V_{nom})} \cdot 3,281$$

Donde A es el número de amperes en el circuito, D es la distancia (en una sola dirección entre los dos puntos a conectarse, %CV es el porcentaje de caída de voltaje y V_{nom} es el valor nominal del voltaje del sistema. El factor 3,281 debe ser usado si la distancia se mide en metros. Si la distancia es en pies (ft) no debe ser considerado.

Calibre AWG	ICV
4/0	99
3/0	78
2/0	62
1/0	49
2	31
4	20
6	12
8	8
10	5
12	3
14	2
16	1

Tabla 2. Relación entre ICV y el AWG

Vemos que el valor más cercano en la tabla es 8, el que corresponde a un calibre AWG8. La tabla 2 muestra que el valor numérico del calibre se incrementa (cable de menor diámetro) cuando el ICV disminuye. Si en lugar de 12V el sistema fuere de 24V, el ICV se reduciría a la

mitad, pudiéndose usar un AWG10 con holgura. Cuando el valor del ICV tiene un valor intermedio entre dos dados en la tabla, **siempre elija el calibre de mayor diámetro.**

Calibre	Resistencia	Amperaje máximo (A)			Dimensiones	
		Tipo de cable			Diáme min	Area Cm ²
AWG nº	Ω/100m	UF	USE,THW, TW,THWN	NM		
4/0	0,01669	211	248		13,412	1,4129
3/0	0,02106	178	216		11,921	1,1161
2/0	0,02660	157	189		10,608	0,8839
1/0	0,3346	135	162		9,462	0,7032
2	0,05314	103	124		7,419	0,4322
4	0,08497	76	92		5,874	0,2710
6	0,1345	59	70		4,710	,01742
8	0,2101	43	54		3,268	0,0839
10	0,3339	32	32	30	2,580	0,0523
12	0,5314	22	22	20	2,047	0,0329
14	0,8432	16	16	15	1,621	0,0206

Tabla 3. Cables de Cobre a 25° C

3. Componentes auxiliares

El fácil acceso, control, y conversión de la energía generada por el sistema FV crea la necesidad de incorporar al sistema tomacorrientes, interruptores, lámparas de iluminación y aparatos domésticos de bajo voltaje. Estos componentes forman parte de una numerosa lista de componentes auxiliares.

Por otra parte el correcto monitoreo del sistema, así como el agregado de otras fuentes de generación, crea la necesidad de incorporar un segundo grupo de componentes auxiliares.

La escasez de una adecuada selección para algunos tipos de componentes auxiliares dificulta, a veces, la implementación del sistema. Esta situación se pone en evidencia al seleccionarse las llaves interruptoras y tomacorrientes domiciliarios. La demanda de componentes diseñados para trabajar en circuitos de CC con bajos voltajes y altas corrientes es muy restringida.

En los EEUU la industria de los vehículos para recreación (RVs) ayuda a mejorar la oferta, pero no a satisfacerla en forma total. Por ejemplo, se ofrecen cajas de fusibles para bajo voltaje, pero éstas no poseen una adecuada protección ambiental, pues están diseñadas para ser instaladas dentro de un RV.

Dentro y fuera de los EEUU, la industria de repuestos para automotores ofrece una limitada variedad de interruptores y focos de iluminación para 12V. Por ello es importante que el lector entienda las limitaciones de los componentes ofrecidos, ya que su correcta selección guarda una relación directa con el grado de seguridad y la vida útil del sistema.

Comenzaremos con la descripción de los componentes auxiliares que se requieren para implementar los bloques del sistema no relacionados con la función de monitoreo.

3.1 Soportes

Soporte fijo

El soporte fijo es de menor coste, pero no permite variar el ángulo de inclinación de los paneles con respecto a la horizontal. Esta restricción no siempre constituye un problema, ya que el régimen de carga puede, en muchas circunstancias, ser satisfecho con la selección de un ángulo de inclinación fijo. El diseño de estos soportes hace posible el ajuste manual del ángulo de inclinación.

Soportes ajustables

Algunos modelos han sido diseñados para ser anclados directamente al suelo o al techo de una casa (Figura 9), mientras que otros tienen sostenes que permiten su montaje a un poste de sostén (Figura 10). Existen numerosas variantes mecánicas para cualquiera de estos

modelos, las que permiten montar varios paneles en un mismo sostén. Los soportes con anclaje a una superficie pueden acomodar hasta 14 paneles, satisfaciendo las necesidades de consumo para una amplia gama de sistemas.

Cuando el montaje se hace usando un poste de sostén, el máximo se reduce a unos cuatro paneles, ya que este tipo de sostén tiene un mayor uso en aplicaciones de menor consumo (teléfono o luz de emergencia).

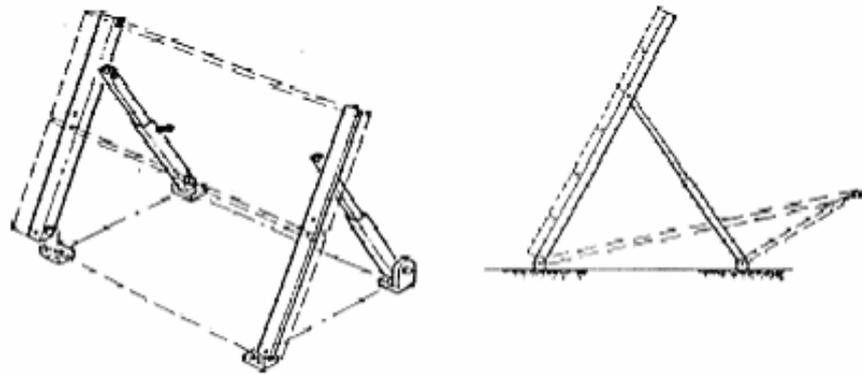


Fig. 8: Soportes ajustables.

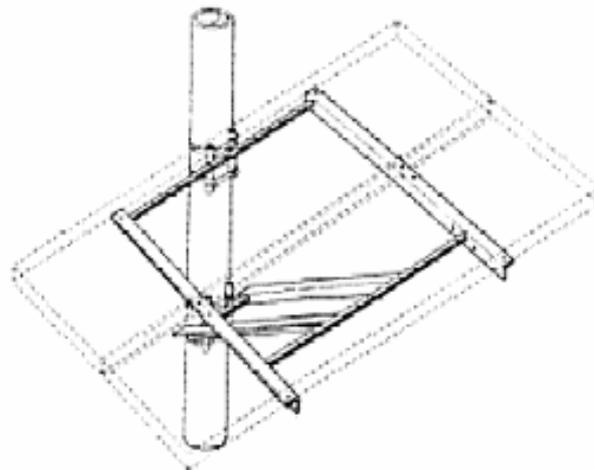


Fig. 9: Soporte ajustable con anclaje en un poste

3.2 Seguidores

Seguidores automáticos

Los seguidores automáticos tienen un mástil metálico central, el que sirve de sostén a un soporte móvil, cuya posición varía durante el día. Sobre este soporte se sujetan los paneles FVs. Dependiendo del grado de libertad del movimiento, se conocen dos tipos: el seguidor de un eje y el de dos ejes.

Seguidor de un eje

El seguidor de un eje solamente se mueve de este a oeste (movimiento azimutal). El de dos ejes combina el movimiento azimutal con el de norte a sur (elevación). Ambos tipos pueden acomodar numerosos paneles. El mecanismo que provoca el movimiento azimutal del soporte de un eje es sumamente simple. El desplazamiento del sostén está basado en el cambio de peso experimentado por una sustancia con baja temperatura de evaporación (freón), cuando ésta cambia del estado gaseoso al sólido. La Figura 10 ilustra este tipo de seguidor.

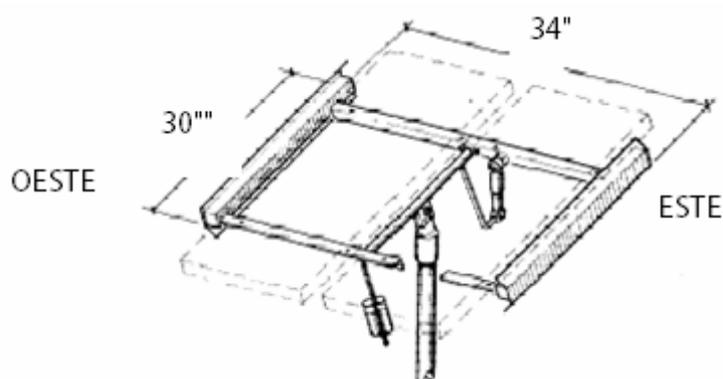


Fig. 10: Seguidor automático de un eje.

Seguidor de dos ejes

El mecanismo del seguidor de dos ejes es del tipo activo. La Figura 12 muestra una unidad de este tipo.

Dos sensores ópticos, uno por eje, responden a la intensidad solar, actuando sobre los mecanismos que controlan la posición de azimut y elevación del soporte. El consumo del sistema de control es de me-

nos de 1W. Un pequeño panel FV, montado en el centro del soporte transversal inferior, es suficiente para activar el sistema y cargar una batería de Ni-Cd, la que extiende el período activo del control durante la noche.

Cuando el sol se pone, la ausencia simultánea de luz en los dos sensores provee una señal de reorientación para el sistema, forzando el desplazamiento del soporte hacia el este, lo que elimina por completo el tiempo de reorientación del seguidor. La rotación azimutal es de 120 grados y la de elevación 65. El error en la perpendicularidad es de unos 3 grados. Este modelo no tiene restricciones en su uso cuando la temperatura ambiente es baja y soporta intensos vientos.

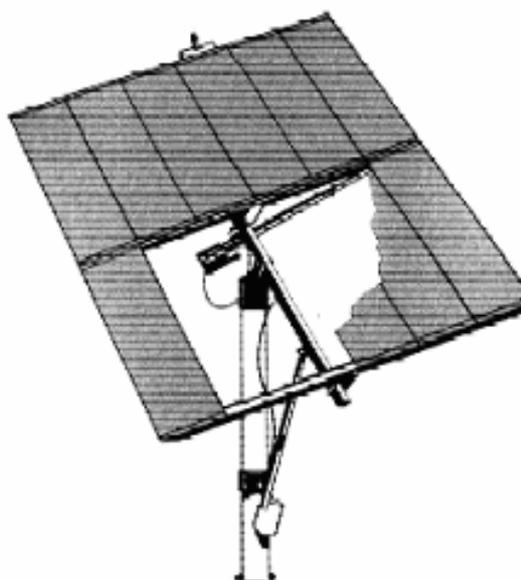


Fig. 11: Seguidor automático de dos ejes

3.3 Fusibles

Fusible de batería

El uso de fusibles proporciona seguridad y flexibilidad de trabajo al sistema FV. Hemos visto que una batería en cortocircuito puede sostener miles de amperes por varios segundos. Para evitar daños irreparables en el banco de baterías, así como en el cableado, se necesita la protección de un fusible entre el banco de baterías y la carga. A este fusible se lo denomina fusible de batería. Con valores tan elevados

para la corriente de cortocircuito podría pensarse que no se necesita un fusible especial.

Este no es el caso, ya que una violenta fusión del mismo puede convertirse en un proceso de soldadura eléctrica entre los dos contactos, obteniéndose una conexión permanente entre sus terminales, en lugar de una rápida acción de apertura entre los mismos.

Además, dado que este fusible está ubicado dentro del cuarto de baterías (o cercano a ellas), es importante evitar efectos secundarios durante el período de apertura, como la explosión del mismo o la formación de un arco eléctrico entre sus terminales. Situaciones de este tipo podrían provocar la activación química de los gases de oxígeno e hidrógeno producidos por las baterías durante el proceso de carga.

Fusible tipo T

Un fusible que cumple con estos requisitos es el llamado limitador de corriente, como el Littelfuse tipo T, el que ofrece un reducido tamaño para corrientes en exceso de 30A. Este tipo de fusible se ofrece en varias capacidades (de 1 hasta 1.200A).

Combinación fusible / interruptor

La Figura 13 A y B, muestran el aspecto externo e interno de este componente, así como su especificación eléctrica.

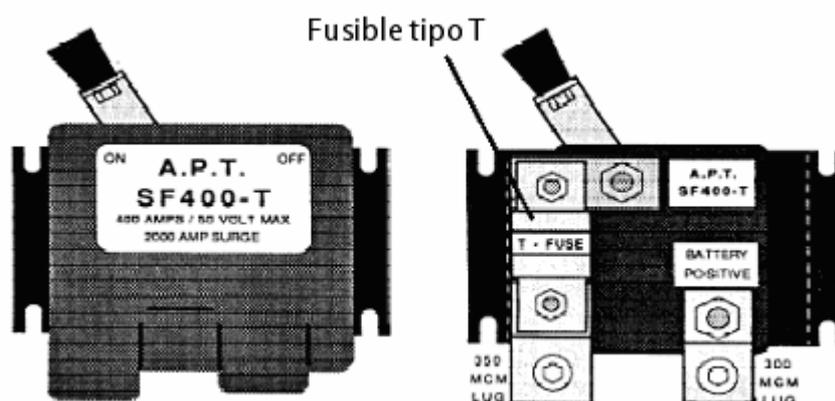


Fig. 12: Interruptor de alta corriente con fusible tipo T.

La inmersión de los contactos en aceite, dentro de una caja hermética, evita la formación de un arco al abrirse el circuito de carga. Obsérvese, asimismo, la baja caída de voltaje en la unidad.

La caja de entrada domiciliaria contiene los fusibles de protección zonal. Esta división de la corriente de carga permite el uso de fusibles de menor amperaje. En sistemas FVs de 12V nominales puede utilizarse fusibles originalmente diseñados para automotores. Estos fusibles son fabricados para proteger circuitos con corrientes entre 3 y 30A en circuitos con voltajes de hasta 32V.

Fusible 3AG

Un tipo muy popular es el 3AG, para el que existen dos versiones: una que introduce un tiempo de demora durante el período de sobrecarga; la otra sin tiempo de demora. La primera versión corresponde al tipo de fusible llamado "slow blow" (acción lenta); la segunda al tipo "fast blow" (acción rápida).

Si se anticipan transitorios, como es común cuando se conectan motores, el slow blow es el indicado para evitar su apertura durante el arranque del motor. De no existir transitorios en la carga, el fast blow es el más indicado. El tiempo de apertura para ambos tipos sólo difiere cuando la corriente alcanza el 200% del valor nominal, como se ilustra en la tabla dada a continuación.

También cabe decir que existen otros tipos de fusibles, como por ejemplo los domiciliarios.

Valor nominal (A)	Corriente de sobrecarga (%)	Tiempo de apertura
1/100 – 10	110	4hrs,mín
	135	1hr,máx
	200	5s,máx(FB);5mín(SB)

Tabla 4. Valores fusible 3AG

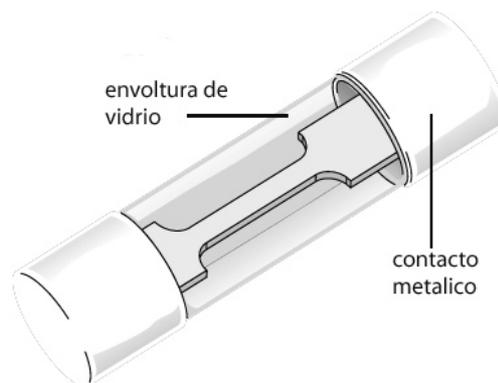


Fig. 13: Fusible 3 AG.

Fusibles automáticos

Todos los fusibles enumerados con anterioridad interrumpen el circuito fundiendo un trozo de conductor, lo que requiere el reemplazo de la unidad. Existe otro tipo de fusible, el automático (*circuit breaker*, en inglés), que no se destruye.

Cuando la corriente excede el valor nominal de trabajo del mismo, el calor generado por ésta actúa sobre un retensor mecánico sensible al calor, abriendo el circuito. Una vez que el problema ha sido corregido, manualmente se activa una llave interruptora, la que reestablece la condición original.

En la práctica, es conveniente el uso de dos de ellas (llaves interruptoras): una para poder desconectar los paneles FVs del resto del circuito; la otra para aislar la carga del banco de baterías.

3.4 Llaves interruptoras

La Figura 14 muestra la incorporación de estos interruptores de servicio. El interruptor entre los paneles y el control de carga fuerza la apertura de este último, evitando un cortocircuito accidental del banco de baterías. El segundo interruptor aísla la carga doméstica del banco de baterías.

El interruptor debe ser seleccionado con una capacidad (voltaje y amperaje de CC) que permita manejar, con holgura, la potencia máxima de la carga con la que estará asociado. Si la corriente de carga no excede los 15A, y el sistema es de 12V, es fácil conseguir un interruptor en un negocio de venta de repuestos para automotores.

Deberá tenerse en cuenta que estos interruptores **no están diseñados para uso externo**, de manera que deben ser ubicados dentro de cajas con protección ambiental. El interruptor de entrada domiciliaria podrá ser instalado dentro de la caja de fusibles.

Cuando el interruptor debe manejar corrientes de 20 o más amperes, se aconseja el uso de interruptores diseñados para evitar la formación de arcos entre contactos.

Los interruptores a cuchilla con mecanismo de disparo rápido a resorte, o con contactos sumergidos en aceite o en el vacío, son los indicados. Algunos modelos tienen fusibles de "cartucho" en cada línea de alimentación. Otros incorporan protección contra rayos, pero este tipo de protección puede agregarse a posteriori.

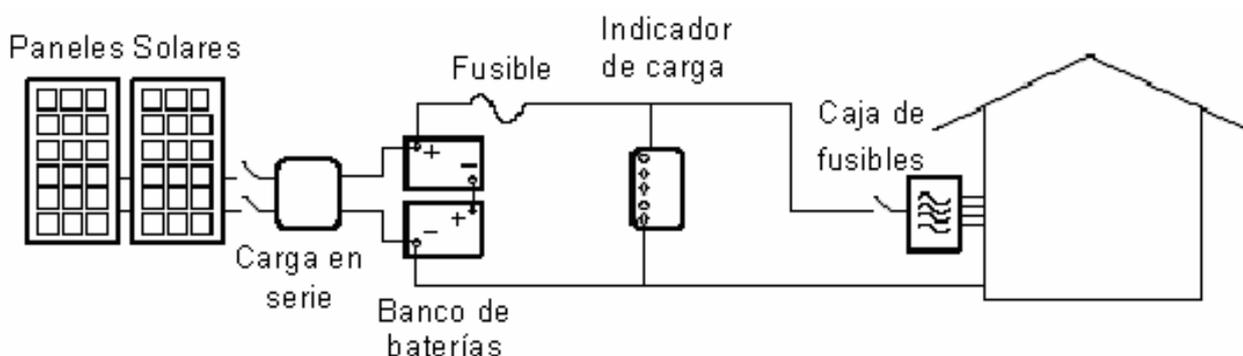


Fig. 14: Sistema FV básico con doble interruptor de servicio.

3.5 Iluminación

Eficiencia

Dado que la aplicación más común de un sistema FV es la iluminación domiciliaria, la reducción de este consumo eléctrico, empleando la fuente luminosa más eficiente, trae aparejada la reducción del costo total del sistema.

El foco de iluminación más **ineficiente** es el tipo incandescente, ya que el 90% de la energía eléctrica consumida por el mismo se emplea en calentar un filamento. Su vida útil es de unas 1.000 horas y la intensidad luminosa decrece un 20 % por debajo de su nivel original cuando llega al final de la misma.

Las luces fluorescentes para bajo voltaje de CC usan un balastro electrónico, el que introduce una pérdida de alrededor del 10% de la energía eléctrica aplicada, con un 90% de la misma convertida en

energía luminosa. Su vida útil es de unas 10.000 horas de uso. Es por ello que, para un mismo grado de iluminación ambiental, el consumo de estas luces es sensiblemente menor.

Existe una gran variedad de modelos, con consumos desde 8 a 80W. Las unidades pueden tener uno o dos tubos fluorescentes. Unidades de un solo tubo pueden tener forma cilíndrica o redonda.

Para tener una idea del grado de luminosidad, multiplique por tres (3) el valor de la potencia requerida por el modelo fluorescente y tendrá, conservadoramente, el consumo equivalente de una luz incandescente.

Vida útil

Es importante recordar que la vida útil del balastro electrónico se reduce drásticamente si la luz fluorescente está sometida a repetidos encendidos y apagados. Para estas situaciones se recomienda el uso de una luz incandescente de bajo consumo.

Focos con gas halógeno

Las luces incandescentes se ofrecen, asimismo, con vapor de halógeno, como las usadas en los automotores modernos. La presencia de este gas permite alcanzar una mayor eficiencia de conversión eléctrica a luminosa. Sin embargo, este tipo de iluminación produce mucho calor y resulta peligrosa si no se usa la versión que tiene el foco original montado dentro de un bulbo de vidrio, como el usado por la lámpara incandescente común.

Sin esta protección, la grasitud depositada al tocarse la cobertura de vidrio del foco original se quema, provocando la destrucción explosiva del mismo. La versión con doble cobertura tiene otra ventaja, pues incorpora el zócalo estándar usado por los focos incandescentes.

Máxima capacidad de trabajo.

Cuando use en un circuito de CC componentes originalmente diseñados para CA, disminuya en un 20% el valor máximo dado para el mismo. No utilice los interruptores de tipo "silencioso", ya que utilizan un contacto con mercurio que puede sostener un arco eléctrico al abrir el circuito. Si tiene acceso a interruptores de CA que usan la torsión de un resorte para mover el contacto interno, úselos, pues el movimiento es parecido al del interruptor a cuchilla.

3.6 Centros de distribución

Cuando el sistema FV tiene un consumo elevado, o forma parte de un sistema mixto, es aconsejable evaluar el uso de los llamados "Centros de Distribución". Es común que estos Centros de Distribución ofrezcan instrumental de medida, control de carga de baterías, fusibles, protección contra rayos y varias de las opciones normalmente ofrecidas con los controles de carga o por separado. La principal ventaja es la integración funcional que proveen, con el conjunto ensamblado dentro de una caja con protección ambiental adecuada. Se establecen dos contactos de diferente ancho, mientras que la de la derecha tiene un contacto extra, el que forma una figura triangular. Estas dos versiones son comunes en los EEUU. Si no pueden obtenerse en su país, deberá recurrir a otro método de identificación. Una sugerencia puede ser el uso de un punto colorado del lado positivo.

■ **Caja:** Acero pintado con pintura de alta resistencia. Tiene 18 entradas de 3/4 de pulgada y 5 de 2 pulgadas de diámetro.

■ **Circuitos Protegidos:** Dos (2) Fusibles T, de 200 ó 400A (entrada y salida).

■ **Entrada:** Fusibles automáticos de 30A, con terminales para calibre No 00, con entrada identificada.

■ **Control de Carga:** Trace C30A ó Bobbier NDR30

■ **Fusibles Automáticos**

■ **Opcionales de Entrada:** Hasta 5 posiciones con capacidad de hasta 100A c/u.

■ **Fusibles Automáticos**

■ **Opcionales de Salida:** Hasta 8 posiciones para fusibles automáticos. Capacidad: desde 20 a 70A c/u.

■ **Instrumental:** Un voltímetro y un amperímetro (analógico) con 5% de precisión. Miden el voltaje del banco de baterías y la corriente de los paneles.

3.7 Refrigeradores

Refrigerador a gas

Si se requiere el uso de un refrigerador (o congelador), se recomienda el de gas, ya que su uso no requiere aumentar la capacidad de generación y acumulación del sistema. Existen dos modelos, uno para gas natural, el otro para gas envasado.

Refrigerador eléctrico

Cuando no se cuenta con suministro de gas, y se necesita preservar alimentos o medicinas, el refrigerador eléctrico de bajo voltaje resulta la única solución factible. El alto grado de eficiencia alcanzado por estos refrigeradores permite su uso con un mínimo número de paneles FVs. Esta alta eficiencia es el resultado de un cuidadoso diseño y el uso de un efectivo aislamiento térmico.

Otros componentes auxiliares

La lista de componentes auxiliares ofrecidos para monitorear el sistema o permitir la incorporación de generadores adicionales es sumamente extendida. Como ilustración, describiremos alguno de ellos.

3.8 Medidor de carga de batería

El medidor de carga de batería está basado en la correlación que existe, en una batería de Pb-ácido, entre el voltaje de las mismas y el estado de carga. El indicador funciona como un voltímetro de escala expandida (mayor precisión) entre un voltaje mínimo (0% de carga) y otro máximo (100% de carga). El modelo ilustrado en la Figura 18 divide esta variación de voltaje en 10 rangos. Cada uno de ellos representa un 10% de variación. Cuando el voltaje de batería alcanza uno de estos valores, un foco LED se enciende para indicar el rango.

Si el voltaje tiene un valor intermedio, dos (2) de las luces aparecen encendidas con menor intensidad. Existen tres luces adicionales, una para indicar que se ha alcanzado el voltaje de flotación de carga (si el control usa este método de carga), otra para indicar el voltaje de equalización, el que es siempre elevado, y una tercera, muy importante, que parpadea en forma continua cuando el voltaje de batería es bajo.

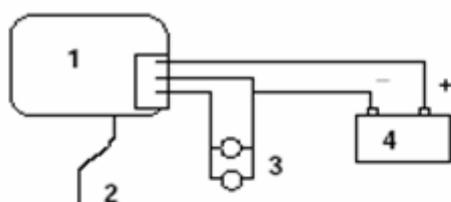
Bajo voltaje de la batería

El mayor abuso que sufre una batería en un sistema FV es el exceso de descarga. Esto puede evitarse usando un interruptor de bajo voltaje.

Este tipo de interruptor puede manejar corrientes de carga de 30A en un sistema de 12V o 20A en un sistema de 24V. Tanto el voltaje bajo de batería, como el de reconexión pueden ser ajustados por el cliente dentro de un cierto rango. Debe recordarse que un bajo voltaje de batería puede, asimismo, afectar otros aparatos en el sistema, de manera que una protección de este tipo ofrece múltiples beneficios.

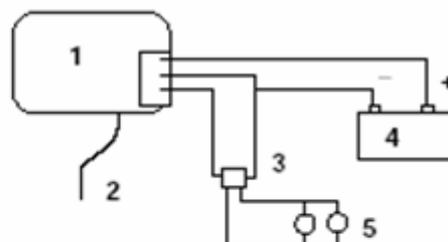
Control de encendido.

Por último mencionaremos el control automático de encendido. Al anochecer el control activa, automáticamente, el encendido de una o más luces. Para ello utiliza un sensor luminoso (fotoresistor), el que determina cuando no existe iluminación solar. El modelo del ejemplo tiene una capacidad máxima de 10A. Su conexionado está ilustrado en la Figura 15(A).



- 1. Interruptor
- 2. Conexión al sensor
- 3. Luces
- 4. Baterías(s)

A



- 1. Interruptor
- 2. Conexión al sensor
- 3. Relevador
- 4. Batería(s)
- 5. Luces

B

Fig. 15: Conexionados.

De necesitarse controlar un consumo mayor, puede utilizarse esta salida para activar la bobina de un relevador con mayor capacidad de corriente, como se muestra en la Figura 15(B).

Este tipo de control es útil para activar una luz de seguridad o un cartel de propaganda de carretera que usa paneles FVs y baterías. Cuando se utiliza un sistema FV para activar un equipo de bombeo de agua se utilizan otros componentes auxiliares, como los interruptores que permiten regular el nivel máximo y mínimo en un tanque cisterna.

Focos con LEDs

Recientemente han aparecido en el mercado focos de bajo voltaje de CC que agrupan varias luces del tipo LED (*Light Emitting Diode*, en inglés). Combinando en un solo foco varios diodos LEDs de diferentes colores puede obtenerse un espectro de irradiación cercano al de la luz blanca. Un diodo LED puede durar medio millón de horas de uso, de manera que puede pensarse en un foco de vida eterna, el que se caracteriza por ser el más eficaz de los que se conocen hoy día.

El único problema es el del costo inicial, ya que las mejores versiones usan LEDs de muy alta eficacia, cuyo costo es algo elevado. Existen versiones para CA, las que contienen un rectificador, para obtener la CC. La eficiencia de estos focos es algo menor, debido a la conversión de voltaje.

? autoevaluación

1. Según la corriente tengo dos tipos de control de carga, ¿cuáles son?

2. ¿Qué cable estoy utilizando si tiene una resistencia 0,2101?

3. ¿Qué tipos de soportes existen en el mercado?

**respuestas autoevaluación**

1. ¿Según la corriente tengo dos tipos de control de carga, cuales son?

- Los de CC.
- Los de CA.

2. ¿Qué cable estoy utilizando si tiene una resistencia 0,2101?

AWG 8

3. ¿Qué tipos de soportes existen en el mercado?

- Fijos.
- Ajustables.

Glosario de términos

Cortocircuito: Circuito que se produce accidentalmente por contacto entre dos conductores y suele ocasionar una descarga.

CC: Corriente continua.

CA: Corriente alterna.

Fotón: Cada una de las partículas que constituyen la luz.

MOSFET/FET: Tipo de transistor de efecto campo.

Movimiento azimutal: Movimiento relacionado con el ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste.



GRUPO FONDO FORMACIÓN

FONS  FORMACIÓ

FONDO  FORMACION
enskadi



**Fondo de Formación y
Gestión Empresarial, SAL**



Fundación Andaluza Fondo de Formación y Empleo
CONSEJERÍA DE EMPLEO



FUNDACIÓN METAL
ASTURIAS



FUNDACIÓN GALEGA DO METAL
FORMEGA
FORMACIÓN - CUALIFICACIÓN - EMPREGO

FONDO  FORMACION
Fondo Formación Centro, S.L.L.