

CAPITULO 10

DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

DISEÑO OPTIMO El mejor diseño para un sistema FV es aquel que, incorporando el menor número de paneles y baterías (si se requieren), satisface las condiciones impuestas por la carga eléctrica, con un determinado grado de confiabilidad para el sistema.

CONFIABILIDAD El grado de confiabilidad, expresado en forma porcentual, es la relación entre el tiempo durante el cual el sistema FV puede suplir los requerimientos de la carga y el tiempo en que ésta debe permanecer activa. Para servicios críticos, el grado de confiabilidad es cercano al 100%. La carga en estos servicios permanece activa los 365 días del año, y en algunos sistemas, durante todo el día. Ejemplos de servicios críticos son los servicios médicos (refrigeración de medicamentos), redes de distribución domiciliarias, sistemas de comunicaciones (repetidores remotos) o de señalamiento luminoso (boyas marítimas). Los servicios que no son críticos pueden tener un grado de confiabilidad menor (cerca del 90%).

CONFIABILIDAD Y COSTO Cuando el grado de confiabilidad aumenta, el costo del sistema se incrementa. Esta relación no es proporcional. El incremento en el costo es extremadamente rápido cuando el grado de confiabilidad se incrementa del 95% al 100%. El grado de confiabilidad de un sistema FV representa, en cada instante, un balance entre el consumo y la capacidad de satisfacer ese consumo. En un sistema FV con régimen de uso nocturno, los días sin sol introducen un desbalance en la parte generadora, el que debe ser corregido incrementando la capacidad de reserva, o suplementando la generación con otras fuentes de energías renovables, como son la eólica o la hidroeléctrica (sistemas híbrido). En ambos casos, como se señaló con anterioridad, el costo del sistema se incrementa. Variaciones en la carga afectan, asimismo, el grado de confiabilidad. Una reducción temporaria del consumo puede ofrecer una solución de costo nulo para restablecer el balance energético durante cortos períodos de insolación nula. Por otra parte, la introducción de cargas no previstas en el diseño original disminuirá el grado de confiabilidad del sistema, ya que el equilibrio energético se verá afectado por el aumento del consumo. Es importante recordar que aún los sistemas convencionales de generación y distribución de electricidad nunca alcanzan el 100% de confiabilidad (fallas de equipo o tormentas). Otro factor que afecta negativamente la confiabilidad, en forma imprevisible, es una falla en su funcionamiento.

SECUENCIA DE DISEÑO A continuación se describen las etapas básicas del proceso de diseño de un sistema FV. El procedimiento no representa un esquema rígido. Al contrario, como veremos al desarrollar el primer ejemplo, varios de los pasos pueden ser considerados en forma simultánea, o en diferente orden.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

La enumeración de los mismos en un cierto orden permite una más clara presentación de los aspectos que se consideran en el diseño. Esto facilitará la verificación del mismo o su revisión, cuando se busque una solución más económica.

**CARGA:
CASO MAS
DESFAVORABLE** La definición de un sistema FV dada al comienzo del Capítulo 2 deja claramente establecido que el primer paso en el diseño de un sistema FV consiste en la determinación de las características y el valor de la carga eléctrica. Este proceso conduce a la determinación del “caso más desfavorable” para la misma.

**ENERGIA A
GENERARSE** Si la carga del sistema es sólo de CC, y no se contempla el uso de un banco de baterías, el valor de la energía a generarse está dado por la suma del consumo más el de la pérdidas del cableado. Si el sistema requiere un banco de baterías, deberán sumarse las pérdidas asociadas con el proceso de carga y las del control de carga.

**SISTEMAS
MIXTOS** Para sistemas FVs con carga mixta (CC y CA), el cálculo energético implica la determinación, por separado, del valor energético requerido por cada tipo de carga, ya que las pérdidas asociadas con un sistema de CA son mayores que las de un sistema con carga de CC solamente (Capítulo 11).

**ESTIMACION
DE LA CARGA** Cuando la carga permanece conectada sin interrupción, y se conoce su consumo, el cálculo de la energía que ésta ha de consumir se reduce a un simple proceso de multiplicación. Esta situación se presenta cuando una luz, de consumo conocido, es activada durante todo el período de utilización del sistema. Cuando la carga es intermitente, la evaluación de la energía a consumirse implica la estimación aproximada de dos variables: la duración del período promedio activo y el número de éstos durante el tiempo considerado (noche, día, etc). Esta situación se presenta con la iluminación ocasional de cuartos en una casa.

COMENTARIOS La mayor dificultad al querer calcular el consumo energético de las cargas es el desconocimiento de los dos valores claves: la potencia que éstas consumen y el tiempo promedio de uso. Para obtener resultados más realistas es común recurrir al uso de tablas, como la dada en la página 102, las que proporcionan valores “promedio” para estas dos variables. El cálculo final debe ser llevado a cabo usando el valor de potencia proporcionado por el fabricante y verificando si el tiempo promedio de uso dado por la tabla refleja los hábitos del usuario del sistema. El valor del consumo más desfavorable es siempre un valor estacional, ya que el tiempo de uso varía entre el verano y el invierno. En un sistema FV para uso doméstico, las horas de iluminación y recreación (radio, TV) son mayores en invierno, mientras que para un sistema FV de bombeo de agua el verano es el caso más desfavorable.

**SELECCION
DEL
PANEL FV** Una vez que se ha determinado el valor de la carga (caso más desfavorable), el siguiente paso es calcular la parte generadora. Este proceso comienza con la selección del panel FV. Desde un punto estrictamente técnico, los parámetros eléctricos (voltaje a circuito abierto, potencia de salida, degradación de la misma con la temperatura, etc) son los más importantes. En la práctica, el costo de la unidad, o la selección ofrecida por el mercado local pueden tener más influencia que los anteriores en el proceso de selección de un panel.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

- NUMERO DE PANELES** Una vez hecha la elección, es imprescindible conocer la potencia de salida del panel elegido a la más alta temperatura de trabajo. El Capítulo 4 muestra cómo determinar este valor. Como se conocen ahora tanto el valor que debe ser generado como el mínimo proporcionado por el panel, la relación entre ambos valores dá una indicación del número de paneles requeridos en el sistema. El número exacto de ellos, en algunos diseños, está determinado por el voltaje de trabajo o la corriente máxima de carga. Estos dos factores pueden dictar una combinación serie o serie-paralelo de los paneles, determinando eventualmente el número a usarse.
- BANCO DE RESERVA** Si el sistema requiere un banco de reserva, la capacidad de generación deberá incrementarse, ya que las pérdidas asociadas con el proceso de carga deben ser compensadas. La capacidad de reserva dependerá de la cantidad de días consecutivos sin sol y el grado de confiabilidad que se considera tolerable para el sistema. El número de baterías de Pb-ácido del banco de reserva estará determinado por el máximo valor elegido para la profundidad de descarga (PD), así como el tipo de batería de Pb-ácido a usarse (voltaje nominal y capacidad de reserva de la unidad).
- COMENTARIOS** Los pasos de diseño descritos hasta el momento nos permiten alcanzar el balance energético del sistema. La confiabilidad del diseño depende, en gran proporción, de la veracidad de los datos utilizados (nivel promedio de insolación, temperatura ambiente, vientos promedios y días consecutivos sin sol). Si estos valores no le son conocidos, lleve a cabo un primer diseño usando valores aproximados, y corrija la deficiencia inicial a posteriori, expandiendo el bloque generador y/o el de reserva. El ejemplo desarrollado en este capítulo incluye el rediseño del sistema.
- COMPONENTES AUXILIARES** El paso siguiente es la selección de los componentes auxiliares (soporte para paneles, control de carga, cables de conexión, fusibles, llaves interruptoras, focos de iluminación, etc, etc).
- INSTALACION** Por último deberán considerarse los detalles de instalación. En la práctica, como veremos en el ejemplo dado a continuación, éstos deberán tenerse presentes durante el proceso de diseño. Para comprender esta aparente anacronía, baste recordar que la selección de los componentes del sistema está influenciada por la carencia de una adecuada protección ambiental (detalle de instalación), lo que afecta no sólo la capacidad del componente, sino su vida útil. Una instalación adecuada contribuye a aumentar el nivel de confiabilidad y seguridad del sistema, disminuye la posibilidad de una interrupción del servicio y facilita el servicio de mantenimiento o la expansión del mismo.
- EJEMPLO DE DISEÑO** El ejemplo a desarrollar es el de un sistema FV básico para uso doméstico, el que será rediseñado para mostrar esta fase del proceso. Con posterioridad se dan, con amplitud de detalle, los comentarios necesarios para extender el procedimiento de diseño a sistemas de mayor consumo. Nuestra carga tendrá las siguientes características:
Régimen: Nocturno; **Uso:** Diario, durante todo el año
Carga eléctrica:
1- Luz fluorescente (12V/40W). Uso diario: 4 hrs/día (invierno); 3 hrs/día (verano).
2- Luz incandescente (12V/20W). Uso diario: 20 min/noche (invierno y verano).
3- Radio a transistores (12V/10W). Uso diario: 6 horas, durante todo el año.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

COMENTARIOS La carga 1 representa una luz en la zona habitacional común, la que permanece encendida durante todo el período de uso. La carga 2 representa una luz que será activada ocasionalmente en un cuarto adjacente. Los 20 minutos de uso representan la suma de varios períodos de activación de duración variable. El régimen de uso (intermitente), determina el tipo de fuente luminosa a utilizarse (Capítulo 9).

ENERGIA REQUERIDA POR LA CARGA Este procedimiento consiste en reducir los valores de consumo de potencia y las estimaciones de tiempo de uso para cada carga, a un valor energético dado en watts horas por día (Wh/d).

		Invierno	Verano
Carga 1:	40W x 4hr =	160 Wh/d	3hr = 120 Wh/d
Carga 2:	20W x (20/60)hr =	6,7 Wh/d	6,7 Wh/d
Carga 3:	10 W x 6hr =	60 Wh/d	60 Wh/d
	Total:	226,7 Wh/d	186,7 Wh/d

COMENTARIOS El caso más desfavorable es el consumo invernal, pero verificaremos asimismo el de verano, pues la temperatura de trabajo del panel es más alta, disminuyendo la potencia de salida.

DATOS SOBRE LA LOCACION Para poder continuar con el diseño necesitamos conocer los datos de insolación y clima de la locación, los que son enumerados a continuación.

Día solar promedio

Invierno: 5 hrs

Verano: 6 hrs

NOTA:

Los valores de insolación corresponden a la inclinación óptima para la locación para ambas estaciones. Esta asunción implica que se *usará un soporte ajustable*, cuya inclinación será variada dos veces por año. Observe como un detalle de diseño afecta el tipo de componente a usarse.

Locación geográfica: Norte del Ecuador. Para esta locación los paneles deberán orientarse hacia el sur (hacia el norte si la locación estuviere al sur del Ecuador).

Temperatura máxima promedio de verano: 30°C

Temperatura mínima promedio de invierno: 5°C

Record de temperatura máxima diaria de verano: 40°C

Record de temperatura mínima diaria de invierno: -5°C

Vientos

Verano: moderados, con excepción del pico del verano, donde son inexistentes o de muy baja velocidad. **Invierno:** moderados a alta velocidad.

Número de días consecutivos sin sol: 4

Humedad ambiente promedio

Verano: 25-30%

Invierno: 15- 30%

COMENTARIOS Conocemos ahora los valores estacionales de la carga y de la insolación promedio. El diseño debe establecer el número de paneles y baterías que permiten alcanzar el balance energético entre la generación y el consumo, durante todo el año.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

ESTIMANDO LAS PERDIDAS	El valor energético a generarse debe tomar en consideración las <i>pérdidas de energía</i> anticipadas en el sistema (cableado, control de carga y baterías). Estas pérdidas deben ser compensadas por el bloque generador. Comenzaremos con las dos primeras. Para nuestro ejemplo asumiremos que las pérdidas en el cableado y el control de carga representan un 2% del total a generarse (eficiencia: 98%).
NOTAS DE DISEÑO	1- Las pérdidas en el control de carga son mínimas, de manera que las pérdidas en el conecionado serán las únicas que serán consideradas (Capítulo 7). 2- La alta eficiencia asumida para el sistema se justifica pues se anticipa un reducido valor para la corriente máxima del sistema (bajo valor para el producto RI^2) y una reducida longitud del cable entre el panel y el banco de baterías (bajo valor para el producto RI). Este razonamiento muestra como detalles de instalación forman parte del proceso de diseño.
EFICIENCIA DEL SISTEMA	Las pérdidas debidas al uso de baterías de Pb-ácido dependen de la temperatura del electrolito (Capítulo 6). Asumiremos que las baterías usarán una caja con aislación térmica, que permanecerá en el interior de la casa, resguardada durante el verano y el invierno. Esta protección ambiental nos permite asumir una temperatura cercana a los 25°C para el electrolito. La capacidad de acumulación será del 100% y la eficiencia del proceso de carga del 90%. La eficiencia total del sistema tendrá un valor de 0,882 (0,98 x 0,90). Vemos nuevamente como otro detalle de instalación nos permite optimizar el diseño.
CONSUMOS ESTACIONALES	La energía que deberá generarse en cada estación se obtiene dividiendo los valores calculados anteriormente por este valor de eficiencia total. Se necesitarán, respectivamente: 257Wh/d (227 / 0,882) durante el invierno y 212Wh/d durante el verano (187 / 0,882).
NOTA	Ver criterio para el redondeo en el Apéndice I.
BLOQUE GENERADOR: PANEL FV	El paso siguiente es calcular la parte generadora. El proceso comienza con la selección del panel FV. Elegiremos uno con alta potencia de salida, de manera de reducir el número de ellos al mínimo, con un alto voltaje a circuito abierto, de manera de tener suficiente voltaje de carga para el banco de baterías durante los días calurosos del verano. Existen en la actualidad paneles FVs con potencias de salida de 70, 80 y 100W. A fin de reducir el costo del sistema optaremos por un panel de menor potencia de salida, como el SOLAREX M-60. Si esta solución resultare inadecuada, podrá considerarse paneles con mayor potencia de salida. Las especificaciones eléctricas de este panel son: Potencia pico de Salida: 60W mínimo. Voltaje a Circuito Abierto: 21V a 25°C Factor de deterioro de la Potencia de Salida: 0,6%/°C sobre 25°C.
BLOQUE GENERADOR: POTENCIA DE SALIDA ESTACIONAL	Para determinar el valor de la potencia de salida del panel durante el verano debemos calcular primero la máxima temperatura de trabajo para el mismo (Capítulo 4). Durante esta estación los vientos llegan a desaparecer, de manera que k toma el valor 0,4. La insolación es abundante, de manera que R toma el valor máximo. El producto kR (exceso sobre la temperatura ambiente) será de 40°C, los que sumados a una máxima ambiente de 30°C elevará la temperatura de trabajo del panel a 70°C.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

Esto representa un aumento de 45° por sobre los 25°C . La potencia de salida del panel se verá reducida a $43,8\text{W}$. Como práctica, asumiendo un valor para k de $0,2$ y el mismo valor para R , el lector podrá comprobar que la máxima temperatura de trabajo durante el invierno no sobrepasa los 25°C . Esto implica que durante esta estación el panel trabajará entregando la potencia pico especificada por el fabricante.

GENERACION ANUAL Las 5 horas de invierno permitirán generar 300Wh/d (60×5). Durante el verano, las 6 horas diarias generarán 263Wh/d ($43,8 \times 6$). Ambos valores satisfacen la demanda de la carga estacional más las pérdidas en el sistema con un exceso. Durante el invierno este surplus de energía alcanza los 43Wh/d ($+16,7\%$); durante el verano se incrementa, alcanzando 51Wh/d ($+24\%$). Más adelante veremos el rol que tienen estos excesos de generación.

VARIACIONES DEL NIVEL DE RESERVA Para calcular el banco de reserva debemos entender el régimen de uso del mismo durante los períodos que preceden y suceden a los cuatro días sin sol. El gráfico de la Figura 10.1 nos muestra las variaciones que sufre la reserva durante esos períodos.

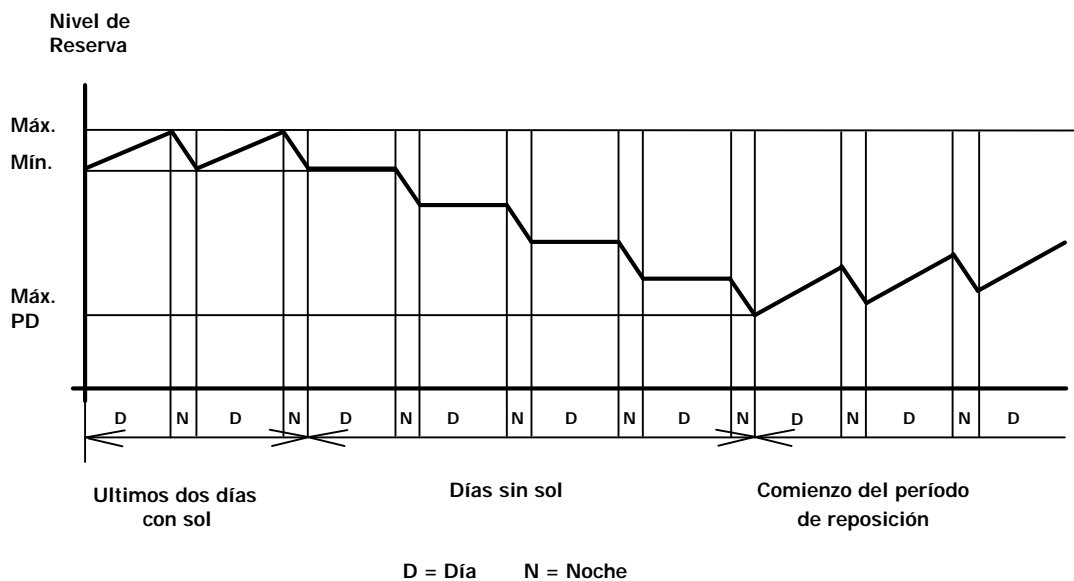


Fig. 10.1- Variación de la reserva de un banco de baterías

NUMERO DE DIAS SIN SOL Vemos que mientras contamos con días soleados las baterías se recargan a su nivel máximo. La energía consumida durante la noche es restituída por los paneles al día siguiente. Al comenzar el período sin sol, que consideraremos de insolación nula, las baterías no pueden ser cargadas. Durante cuatro días se repite este régimen. Esto significa que el mínimo nivel de reserva al retornar los días de sol estará dado por el consumo energético durante los cuatro *días sin sol más uno*, ya que la descarga durante la noche anterior es inevitable.

MAXIMA PD Siendo el consumo invernal el más alto del año, el banco de reserva deberá acumular 1.135Whr ($5 \times 227\text{Wh}$). Para abaratar costos, permitiremos que las baterías se descarguen un máximo del 80% durante las cinco noches de utilización de la reserva.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

Este alto porcentaje de descarga es posible dado su caracter ocasional. Esta asunción significa que la reserva mínima del banco de baterías deberá ser de 1.419Wh (1.135/0,8).

SELECCION DE LA BATERIA

Ahora que conocemos el valor en Wh de la reserva, el siguiente paso es la selección más económica para las baterías. En nuestro ejemplo hemos asumido que éstas permanecerán dentro de una caja completamente aislada. Esta asunción sólo puede ser satisfecha con el uso de baterías de Pb-ácido del tipo hermético, ya que la caja aislada no tendrá ventilación alguna. Esta solución permite su instalación dentro de la casa, sin peligro de accidentes. ¿Qué voltaje es el más conveniente? Para contestar esta pregunta debemos calcular el número de baterías requeridas por cada tipo. La Tabla 10.2 resume las características dadas en el Capítulo 6.

Tabla 10.2- Baterías herméticas (gel) de Pb-ácido

	6V	12V
Ah	180	110
Wh	1.080	1.320

FACTOR DE CONFIABILIDAD OPTIMO

Las baterías de 6V deberán considerarse como “pares en serie”, para poder satisfacer el voltaje nominal del sistema (2.160Wh/par). Si se elije un factor de confiabilidad del 100% (5 noches consecutivas sin recarga), el banco de reserva, independientemente del tipo de batería, requiere dos de ellas para poder satisfacer los 1.419Wh requeridos. Con dos baterías se excede el nivel mínimo de almacenaje. Si reducimos el banco de reserva a una batería, la versión de 12V es la única que puede ser considerada, debido a los requerimientos para el voltaje. Asumiendo nuevamente una PD del 80%, tendremos 1.056Wh disponibles para cubrir los 1.419Wh requeridos. Este nivel de reserva cubre las necesidades durante 4,65 noches consecutivas (93% de confiabilidad). Este valor resulta ser satisfactorio en la mayoría de los casos, y nos ahorra el *costo de una batería*.

TIEMPO DE RECARGA

¿Cuánto tiempo tomará al banco alcanzar el 100% de su capacidad? El caso más desfavorable es el del invierno, dado que el consumo es el mayor y el exceso de generación el menor. Con 43Wh/d de exceso de generación, se necesitarán **26,4 días consecutivos de sol** para reponer la carga usada (1.135Wh). Durante el verano el exceso de generación es mayor y el consumo menor, permitiendo una más rápida recuperación (18,3 días soleados).

COMENTARIOS

Si los días sin sol son, en realidad, días nublados o parcialmente nublados, el nivel de insolación no será nulo, resultando en un menor valor para la PD lo que acorta el período de recuperación de la batería. Si se advierte la existencia de un nuevo período sin sol durante el período de recuperación, el sistema deberá ser rediseñado para no forzar una PD mayor del 80% en la batería. Asumiremos este caso a continuación.

REDISEÑO: BANCO DE RESERVA

Existen, teóricamente, dos posibilidades: aumentar la capacidad de generación, a fin de acortar el período de recuperación del banco de carga, o aumentar la reserva, de manera que el segundo período nublado no exceda el 80% de la PD.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

COMENTARIOS La solución más económica es aumentar el número de baterías, ya que su costo es mucho menor que el de un panel de generación. La mejor solución es incrementar la capacidad generación. Al hacerlo, se incrementa la posibilidad de cargar correctamente el banco de baterías en condiciones no ideales. Una capacidad de generación de 1,3 a 1,5 veces el valor de la carga máxima es lo más aconsejable. En nuestro ejemplo, agregaremos una batería de 12V en paralelo (2.640Wh), para tener el máximo número de Wh en reserva. Con esta adición las baterías alcanzan el 80% de descarga (2.112Wh) en 9,3 días (2.112/227). Este cambio representa casi una duplicación del número de días *consecutivos* sin sol, sin que la PD exceda el 80%. En la práctica puede que el nuevo período sin sol (mayor que 4 días) no se presente en forma continua, ofreciendo algunos días soleados. Estos dos factores, junto con la mayor cantidad de reserva, aumentan la probabilidad de que la PD no exceda el 80%. La cantidad de días de recuperación depende del consumo durante los días nublados y el exceso de generación. El sistema con dos baterías (4 días totalmente nublados) toma el mismo número de días de recuperación que el de una sola batería.

**REDISEÑO:
NUMERO DE
PANELES** Si en lugar de una batería se agrega un panel FV en paralelo, el exceso de generación durante el invierno será de 343Wh/d (300 + 43), lo que reduce el período de recuperación a 3,3 días consecutivos de sol (1.135 / 343). Dado que la corriente de carga se ha duplicado, se requiere un control de carga con mayor capacidad de corriente. El calibre del cable de conexión exterior deberá ser recalculado.

**PD PARA DIAS
SOLEADOS** Cuando el banco ha sido recargado, los días soleados permiten mantener el balance energético. La PD diaria, durante el invierno, es del 17.2% (227/1.320) para el sistema de una batería y la mitad (8,6%) para el de dos. Estos valores permiten una larga vida a la batería.

**USANDO
OTRAS
BATERIAS** Si el mercado local sólo ofrece baterías de Pb-ácido con electrolito líquido, éstas deberán ser colocadas dentro de un cobertizo con buena aislación ambiental. La Tabla 10.3 resume las características de dos modelos, uno de 6V, el otro de 12V.

Tabla 10.3- Baterías de Pb-ácido con electrolito líquido

	6V	12V
Ah	217	117
Wh	1.302	1.404

Puede observarse que para un grado de confiabilidad del 100% el número de baterías continúa siendo el mismo (2), independientemente del voltaje elegido. El uso de una sola batería de 12V (PD del 80%) aumenta el grado de confiabilidad al 99% (1.123/1.135).

COMENTARIO El costo de una batería de electrolito líquido es menor que la del tipo hermético, sin embargo esta última requiere un lugar térmicamente aislado, con ventilación al exterior, en lugar de una doble caja con aislación. Estos costos, así como otros factores (seguridad) deben ser estimados y comparados al elegir un modelo en particular.

**CONTROL DE
CARGA** La potencia máxima para el panel se alcanza durante el invierno (menor temperatura de trabajo). Las especificaciones del panel dan un valor pico de corriente de 3,5A.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

- CONTROL DE CARGA** El control de carga deberá manejar 5A como mínimo. Para disminuir las pérdidas se usará un control de carga del tipo serie. Para abaratar el costo, ya que la corriente es mucho menor que 20A, usaremos un modelo con interruptor a relevador. Para prolongar la vida útil del componente usaremos el modelo que maneja hasta 8A. Como hemos asumido un buen control ambiental para las baterías, este control no tendrá entrada para sensor de temperatura, pudiendo ser montado fuera de la caja. Esto representa una ventaja, ya que el modelo elegido tiene luces indicadoras que ayudan a monitorear el sistema.
- CABLE DE CONECCION EXTERIOR** Continuando con la selección de los componentes del sistema, determinaremos a continuación el calibre del cable de conexión entre el panel y las batería. Anticipamos la presencia de roedores en la zona. Muchos de ellos consideran la aislación de los cables un manjar digno de hincar el diente. Para evitar ese tipo de ataque, así como la acción de los rayos ultravioletas, usaremos un conducto metálico flexible de protección (Capítulo 12). La longitud total es de 4 metros. Para determinar el valor del ICV (Capítulo 8), el valor de corriente máximo es el que puede entregar el panel (3,5A). El voltaje nominal es de 12V y la caída de voltaje es de un 2%. Substituyendo estos valores, se obtiene un ICV de 1,91, el que es redondeado a 2. El calibre correspondiente es un AWG14. El tipo de aislación para el conductor puede ser del tipo TW o THW.
- COMENTARIO** Si el sistema a implementarse va a ser expandido, este es el momento de considerar la carga futura del sistema y seleccionar el control de carga y los cables para satisfacer esta necesidad final.
- VERIFICACION DEL PORCENTAJE DE PERDIDAS** Usando los pasos ilustrados en el Apéndice I puede verificarse que el valor asumido para las pérdidas es algo menor que el 2%. De no verificarse esta asunción, se debe optar por un cable de mayor calibre. El mismo apéndice sirve para calcular la máxima temperatura que el cable podrá soportar sin exceder el 2% de pérdidas (63°C).
- CABLE DE CONECCION INTERIOR** Si asumimos que todas las cargas eléctricas están conectadas al mismo tiempo (caso más desfavorable), la máxima potencia en el sistema alcanza los 70W. Para un voltaje nominal de 12V, esto representa una corriente máxima de 5,83A. Si dividimos la carga en dos circuitos, uno con la luz de 40W y el otro con la radio (10W) y la luz de 20W, de manera de nunca quedarse sin iluminación, la máxima potencia por circuito es de 40W, o 3,33A. Debe recordarse que las pérdidas por calor dependen del cuadrado del valor de la corriente. Dividiendo los circuitos podrá usarse un cable de menor diámetro, el que resulta ser no sólo más económico, pero más fácil de instalar. Un cable de calibre AWG 10 resultará suficiente para distancias de hasta 10 metros, pérdidas del 2% y corrientes de hasta 3,5A. Como este cable es para uso interior, el tipo ROMEX (NMC) resulta adecuado.
- FUSIBLES DE ENTRADA** La carga de este sistema no tiene ningún motor y por lo tanto no existen transitorios de corriente. El fusible cilíndrico de acción rápida (fast blow) es el más adecuado. El valor estandar de corriente a elegirse deberá ser igual o algo superior al nominal del circuito que protege. Otra alternativa es el uso de fusibles para automotor.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

INTERRUPTORES Y TOMA-CORRIENTES Los interruptores para las luces son, a veces, incluidos con las luces fluorescentes. Si éste no es el caso, los interruptores para automotores son los más adecuados. Los tomacorrientes para CA, con capacidad para 10A, pueden soportar un más bajo nivel de CC, como se vió en el Capítulo 9.

FUSIBLE DE BATERIA Para completar el diseño deberá agregarse un fusible de batería con capacidad para 100A y un interruptor en el circuito de entrada. El costo de este último es bajo en esta aplicación con bajo consumo y, como hemos visto, no sólo facilita el servicio, modificación o ampliación posterior del sistema, pero evita un cortocircuito accidental a la salida de la batería mientras se trabaja con el circuito hogareño.

SISTEMAS DE MAYOR CONSUMO El ejemplo que hemos desarrollado resulta en un sistema de uno (o dos paneles), con una (o dos) baterías en el banco de reserva. ¿Cómo se lleva a cabo el diseño de un sistema de mayor consumo?. La contestación es asombrosamente simple: siguiendo el mismo procedimiento de cálculo. El proceso de diseño deberá tener en cuenta los nuevos valores de consumo, generación y almacenamiento del sistema. Para ilustrar algunas de las alternativas que pudieren presentarse, los comentarios serán agrupados por temas.

1- Cantidad de Insolación

Existen zonas donde los máximos de radiación solar y vientos se alternan, alcanzando una de las fuentes renovables un máximo cuando la otra alcanza un mínimo. Si ese es el caso, deberá pensarse en un sistema híbrido (FVs y energía eólica) para alimentar a la carga. Esta combinación afecta el circuito (Capítulo 12) a fin de que un sistema no se convierta en la carga del otro. En otras situaciones puede que se cuente con un generador portátil, el que sólo será puesto en uso en forma esporádica. Esta combinación afecta la selección de opciones para el control de carga, ya que algunos de estos modelos ofrecen, como opción, un commutador automático que cambia la fuente generadora al activarse el generador auxiliar.

COMENTARIO De existir una cascada de agua o un fuerte desnivel entre un reservorio de agua y el lugar de utilización de la energía eléctrica, deberá usarse una mini-turbina de bajo voltaje, ya que son mucho más económicas que los paneles FVs.

2-Carga

Para minimizar la carga es importante pensar en alternativas que no usen electricidad. Esta reducción en la demanda eléctrica reduce el costo del sistema. Un ejemplo es el uso de refrigeradores a gas. Es obvio que esta opción sólo resulta práctica si se tiene acceso a una fuente de suministro para el mismo. Siempre deberá elejirse el aparato doméstico de menor consumo que satisfaga sus necesidades.

3- Número de paneles

Cuando el sistema requiere más de cuatro (4) paneles FVs deberá estudiarse la posibilidad de un panel con mayor potencia de salida, o el uso de un seguidor automático. Dependiendo de la posición geográfica, el uso de un seguidor puede traer aparejado una sensible reducción en el número de paneles. El menor costo ayuda a financiar la compra del seguidor.

4- Estimación de pérdidas

El máximo porcentaje de pérdidas para los cables y el cargador de baterías no deberá exceder el 5% del valor a generarse. Como hemos mostrado en nuestro primer ejemplo, este valor está íntimamente ligado con las pérdidas en el cableado entre los paneles y las baterías. Como antes, deberá hacerse un esfuerzo para resguardar las baterías, de manera que la eficiencia total del sistema sea la más alta posible, disminuyendo el costo de generación.

5- Voltaje del sistema

Cuando la potencia a manejarse en el sistema crece substancialmente, la corriente puede asumir valores demasiado elevados, los que se traducen en altas pérdidas y cables de conexión costosos y difíciles de conectar. Para evitar esta situación deberá contemplarse un voltaje de trabajo de 24 o 36V. Esta solución, dependiendo del tipo de carga, puede resultar inadecuada, ya que el mercado no ofrece una variedad infinita de voltajes para las cargas típicas (iluminación, refrigeración, TVs, etc). En estos casos puede optarse por un sistema con dos voltajes, lo que complica excesivamente la distribución, o rediseñarse el sistema para CA solamente (117 o 220V), como se indica en el Capítulo 11.

6- Cableado

Al incrementarse el número de paneles la superficie del techo que posee la orientación adecuada puede no ser suficiente, o el conjunto puede ofrecer una excesiva resistencia al viento. Esto se remedia usando una instalación a nivel de tierra, la que permite enterrar los cables entre los paneles y el control de carga. Al hacerlo, se les provee una temperatura de trabajo casi independiente de la ambiente, disminuyendo la resistencia durante los días de verano. Otro detalle asociado con un sistema de mayor consumo puede ser la presencia de motores en la carga (herramientas eléctricas o refrigeradores). Esto implica que existirán transitorios de arranque. El calibre del cable de conexión debe ser calculado teniendo en cuenta el valor pico para la corriente del transitorio. Si no se tiene datos precisos sobre su valor, puede estimarse entre 3 y 5 veces el de la corriente de trabajo, dependiendo del tamaño del motor en H.P, y la carga mecánica acoplada al mismo.

COMENTARIO Circuitos con transitorios deben ser separados del resto, a fin de que los fusibles toleren el incremento de corriente durante el arranque del motor.

7- Control de carga

Cuando la corriente de carga es cercana a los 20A deberá pensarse en controles que usan semiconductores, los que deben tener buena protección ambiental contra el calor, ya que éste disminuye la capacidad de manejar una potencia elevada.

Sistemas con corrientes de carga en exceso de los 100A suelen ser divididos en dos (o más) grupos, a fin de evitar el uso de un control de carga de corriente muy elevada. Con este tipo de conexionado se logra aumentar la confiabilidad del sistema, ya que la falla de un control no ocasiona la pérdida total de la capacidad de generación. La salida de cada grupo está conectada en paralelo con los restantes.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

COMENTARIO Otro detalle para tener en cuenta es la consideración de opciones, como el uso de un control de temperatura.

8- Panel de entrada

Sistemas de alta corriente requieren el uso de paneles de entrada, con fusibles automáticos e instrumental adecuado, a fin de poder monitorear el sistema en cada instante y brindar al mismo un alto grado de fiabilidad. El uso de estos paneles provee un anclaje mecánico y una protección ambiental adecuada para el cableado e instrumentación de monitoreo.

9- Baterías

Si el número de baterías es elevado, o existen considerables transitorios en la carga, deberá considerarse las de más alta capacidad (6V/305Ah ó 6V/350Ah). El cuarto de baterías deberá seguir las recomendaciones dadas en el Capítulo 12. Otra alternativa es la utilización de baterías de Ni-Cd, las que pueden descargarse un 100% y exhiben un bajo valor para la resistencia interna. El uso de estas baterías dicta, asimismo, el uso de un control de carga diseñado para las mismas. El fusible de batería deberá ser capaz de manejar 400A como mínimo.

10-Fusibles

En circuitos que tienen transitorios deberán usarse fusibles de acción retardada (slow blow), los que mantienen su integridad durante el transitorio, pero se abren si se produce un cortocircuito permanente.

OTRAS APLICACIONES Hasta ahora hemos discutido con detalle un sistema FV doméstico con régimen nocturno de carga. Pasaremos ahora a enumerar algunos otros sistemas FVs, con carga de CC, para ampliar el campo de aplicaciones prácticas.

ILUMINACION DE CARTELES La iluminación de un cartel de propaganda cerca de una carretera, en un lugar remoto, es una de estas aplicaciones. En este caso se utilizan lámparas fluorescentes de bajo voltaje, las que son colocadas a lo largo del cartel, tanto en la parte superior como la inferior, usando pantallas deflectoras para obtener una iluminación uniforme sobre el área iluminada. El nivel de iluminación dependerá de la ubicación de este cartel respecto a otras fuentes de iluminación. El tipo de batería más indicado es el hermético, ya que resiste mejor las bajas temperaturas. Este tipo simplifica el problema de la protección ambiental y el robo, dado que pueden ser colocadas en cajas cerradas. Los paneles FVs son colocados por encima del punto más elevado del cartel, a fin de evitar que su sombra caiga sobre los paneles FVs. Deberá observarse, asimismo, la posibilidad de sombreado de árboles próximos a la instalación, la que varía con las estaciones. En climas cálidos, la caja de baterías deberá ser ubicada para permanecer en el lado sombreado del cartel durante las horas más calurosas del verano. El circuito debe tener un control de encendido, similar al ilustrado en el capítulo anterior, de manera que no permanezca activo durante el día. Otro dispositivo de control puede ser un reloj eléctrico con mecanismo de contacto, el que deberá ser cambiado con las estaciones.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

REGIMEN NOCTURNO INTERMITENTE

Otra aplicación para un sistema FV con CC es la activación de una señal luminosa de precaución (o una boya), las que se encienden y apagan con un ritmo predeterminado, para llamar más la atención. A este régimen de trabajo se lo denomina intermitente. La energía eléctrica es entregada en pulsos con una duración predeterminada. La Figura 10.4 muestra este régimen de carga.

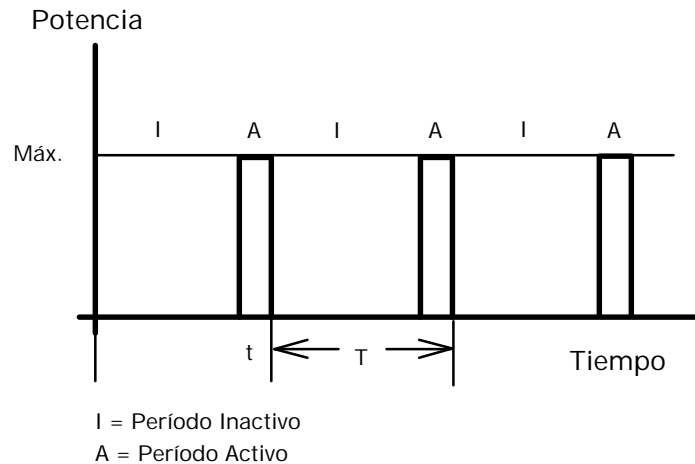


Fig. 10.4- Uso Intermitente de Ciclo Repetitivo

Como se demuestra en el Apéndice I, la potencia equivalente usada durante el tiempo T , depende del valor del “ciclo activo” (CA) de la forma de onda. Un caso similar es el uso de un radio teléfono, el que es explicado en el mismo apéndice.

CARGAS DIURNAS Y NOCTURNAS

Si a un sistema doméstico con carga de CC de régimen nocturno se le adiciona un refrigerador eléctrico, una parte de esta carga incrementará el régimen nocturno, el otro formará parte de un nuevo régimen diurno. Este incremento de la carga requiere una mayor capacidad de generación. De lo contrario, desaparece el balance energético en el sistema, y el banco de baterías no recibiría el nivel de carga requerido. Una buena aproximación para determinar el consumo de un refrigerador es considerar que el tiempo durante el cual el refrigerador permanece activo es de 12 horas diarias (ciclo activo del 50%). Una vez conocido este valor, se pueden estimar las horas diurnas y nocturnas para el caso más desfavorable: el verano.

COMENTARIO La reserva del banco de baterías con este tipo de consumo mixto debe contemplar estos dos usos durante el período de días sin sol.

USO OCASIONAL

Otro caso de consumo intermitente es el de una vivienda para fin de semana. Estos sistemas, como vimos al tratar los regímenes de carga, deberán ser calculados para suplir el pico de consumo de dos días, el que será repuesto durante los cinco restantes. El banco de baterías debe tener una reserva igual al del sistema de uso continuo, ya que si bien existen dos días de uso, los precedentes pueden ser días sin sol, anulando la posibilidad de cargar las baterías (caso más desfavorable).

COMENTARIO La relación costo/utilización es sumamente elevada en sistemas FVs con uso ocasional.

CAPITULO 10- DISEÑO DE SISTEMAS FVs DE CC

CONSUMOS TÍPICOS La Tabla 10.5 da una idea de los valores de consumo para varios aparatos usados en un hogar. Debe tenerse presente que estos valores representan sólo *una guía de diseño*, como se indicó anteriormente. Los valores reales de consumo pueden obtenerse leyendo la placa de especificación (o el manual). Esta tiene el valor del voltaje y corriente (o wataje) a usarse en el cálculo.

COMENTARIO Las licuadoras son utilizadas para triturar frutas. Este tipo de uso representa una carga mecánica elevada, haciendo que el transitorio de arranque alcance valores de 5 o más veces el de la corriente de trabajo.

Tabla 10.5
Consumos Promedios de Aparatos Domésticos de CC (12V)

Tipo de Aparato	Consumo Promedio (W)	Uso Promedio (hrs/mes)
Ventilador (abanico) de techo	25	180 a 210 ¹
Televisor a color	60 ²	120 a 180
Licuadora	80	3
Batidora	110	6
Ventilador (abanico) de pie (8")	12 a 30	180 a 210
Radio/Tape player	30 a 50	90 a 120
Refrigerador/ Congelador		
12 piés cúbicos	350-560 Wh/día ³	
16 piés cúbicos	560-810 Wh/día ³	
19 piés cúbicos	770-1.030 Wh/día ³	

1 El valor más alto corresponde al consumo de verano

2 Asume on televisor transistorizado

3 La primera cantidad representa el consumo promedio con una temperatura ambiente de 25°C. La segunda refleja el consumo promedio cuando la temperatura ambiente es de 32°C.