



# CAPITULO 2

## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### Sistema Fotovoltaico

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

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

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

### Carga eléctrica

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

### Tipos de carga

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

### Régimen de carga

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

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

### Cantidad

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

### Período

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

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

**Ejemplos**

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

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

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

**Consumo**

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

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

**Sistema**

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

La Figura 2.1 ilustra los bloques funcionales que integran este tipo de sistema, así como los componentes usados comúnmente en cada bloque funcional.

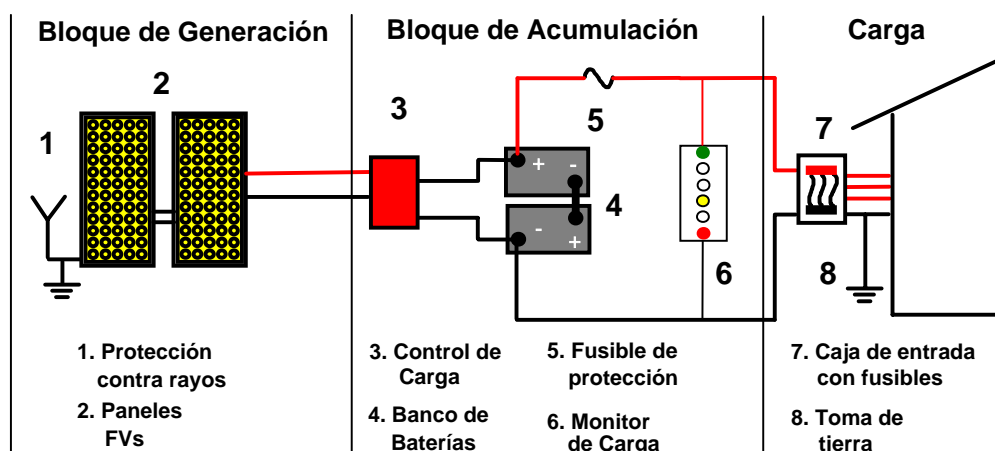


Figura 2.1- Sistema FV nocturno

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

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

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

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

**Pérdidas** Cuando un tipo de energía (luz solar) se transforma en otro tipo (energía eléctrica) la transformación no puede llevarse a cabo sin que ocurran **pérdidas**. Al estudiar las baterías de acumulación (Capítulos 5 y 6), donde la energía química se transforma en eléctrica durante la descarga y la eléctrica en química durante la carga, veremos que ambas transformaciones de energía se llevan a cabo con pérdidas.

Como las pérdidas son siempre parte de una transformación energética, sólo un porcentaje de la energía luminosa recibida se convertirá en energía eléctrica, de la cual sólo un porcentaje podrá ser acumulada como energía química en las baterías. De la energía acumulada, sólo un porcentaje podrá ser transferida a la carga como energía eléctrica, donde sólo un porcentaje se transforma en energía útil.

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

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

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

**Nota:** *Un sistema diurno, a pesar de no tener un bloque de acumulación, tiene un **control** entre los paneles y la carga, pero los requerimientos de diseño son diferentes, como veremos en el Capítulo 14.*

El **control de carga** usado en el sistema nocturno de la Figura 2.1 cumple varias funciones:

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

El **banco de baterías** usa un tipo especial de batería llamada *batería solar* (Capítulo 6). Estas baterías se ofrecen en versiones de 6 y 12V. Una batería solar es una batería diseñada para soportar niveles de descarga profundos durante muchos ciclos de carga y descarga. El diagrama de la Figura 2.1 muestra dos baterías de 6V conectadas en serie, en un sistema de 12V nominales.

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

**Nota:** *Si el control de carga no ofrece ninguna capacidad de monitoreo, desusual en la actualidad, Ud deberá incorporar un componente que performe esta función, ya que es imprescindible saber el estado de carga del banco de acumulación si se quiere extender la vida útil del mismo (Capítulo 13).*

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

**Cableado** El **bloque de Cableado** (Capítulo 8) es considerado uno de los bloques básicos del sistema porque el dimensionamiento del mismo tiene un rol muy importante en la reducción de pérdidas por calor. Deberá recordarse que para un dado régimen de carga (Watts), la **corriente disminuye** cuando el voltaje del sistema **se incrementa**. En la práctica muchos de los aparatos de CC **son fabricados para 12 V**, de manera que este voltaje se ha convertido, por necesidad, en el más popular en sistemas con cargas de CC.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Comentarios** Para cerrar este capítulo de introducción a los sistemas FVs considero necesario comentar sobre actitudes erróneas tomadas por aquellos que instalan pequeños sistemas (uno a tres paneles). Como estos sistemas son usados por personas de bajos recursos, existe la tentación de considerar como redundantes algunos de los componentes descritos en este manual, o substituir un componente por otro que no es el adecuado.

Esta actitud resulta en una falsa economía que se traduce en sistemas con altos costos de mantenimiento y, en algunas circunstancias, peligrosos.

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

Por favor! Use el sentido común y evalúe cuidadosamente las consecuencias asociadas con la supresión o sustitución de componentes. Espero que este manual ayude con sus comentarios a desarrollar en el lector la capacidad para diseñar un sistema económico, sin comprometer la seguridad o la vida útil del mismo.