

CAPÍTULO V

Planteamiento del problema, parámetros y diseño fotovoltaico

5.1 Objetivo general

El objetivo general de esta tesis es generar energía eléctrica por medio de la luz solar, con la finalidad de poder iluminar un lugar donde no se cuenta con energía eléctrica directa de Comisión Federal de Electricidad (CFE). Para lograr tal objetivo se diseñó un sistema que cuenta con paneles solares, acumulador o batería y de un circuito inversor (convertidor cd-ca).

Como el sistema se alimenta de la radiación solar, entonces para poder convertir esa radiación en energía eléctrica, se necesitan de los paneles solares que transforman la luz del sol en energía eléctrica. Por otro lado estos paneles entregan un voltaje aproximadamente de 12 volts de corriente directa, por lo que hay que transformarla en corriente alterna a 120 volts eficaces con una potencia de salida de 200 Watts.

5.2.- Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la tesis se mencionan a continuación:

- Generar 120 V_{rms} a 60 HZ con una señal sinusoidal para una carga de 200 W.
- Implementar el sistema en iluminación.
- El sistema será del tipo autónomo.
- Obtener el proyecto en prototipo.

5.3.- Parámetros del diseño fotovoltaico

El primer diseño es el cálculo de las cargas y número de horas que nuestro sistema permanecerá funcionando. Para eso hay que tener en cuenta los siguientes parámetros [3]:

- Un *SOL* es un parámetro de medición que está estandarizado para evaluar la potencia de salida máxima de un panel solar.

$$1SOL = 1KW/m^2 \quad (30)$$

- La *insolación* es la cantidad de energía solar (directa y reflejada) que se recibe durante la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de $1m^2$.
- El *Día Solar (DS)* representa el valor promedio de horas, del total de horas entre el amanecer y el anochecer, durante el cual un *SOL*

equivalente es capaz de generar la misma cantidad de energía que el sol verdadero entrega, en promedio, en esa locación, para esa época del año. Como ejemplo, supongamos que en una locación el valor de insolación estacional promedio es de 5KWh/m^2 al día. Desde el punto de vista energético (potencia por tiempo) podemos asumir un *DS* de 5 horas, con una irradiación constante de 1KW/m^2 , ya que el producto ($5\text{ hrs/día} * 1\text{KW/m}^2$) representa valor energético de insolación.

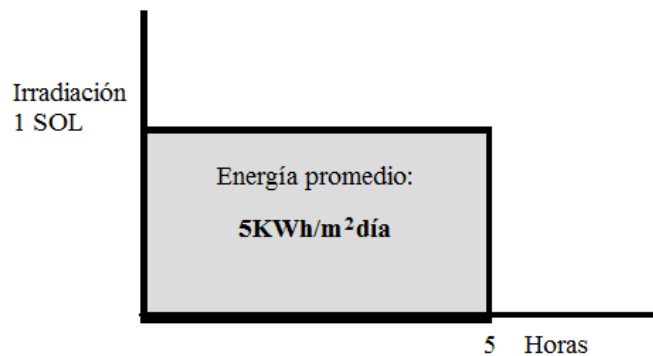


Figura 5.1- Día solar de 5 horas [3].

La Figura 5.1 ilustra el significado de esta equivalencia. La superficie del rectángulo representa la energía solar promedio medida.

5.4. - Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es el resultado de la integración de varios bloques funcionales, con el fin de suplir, diariamente, la energía eléctrica requerida por la carga. En la figura 5.2 se muestra la integración de los bloques mencionados [3]:

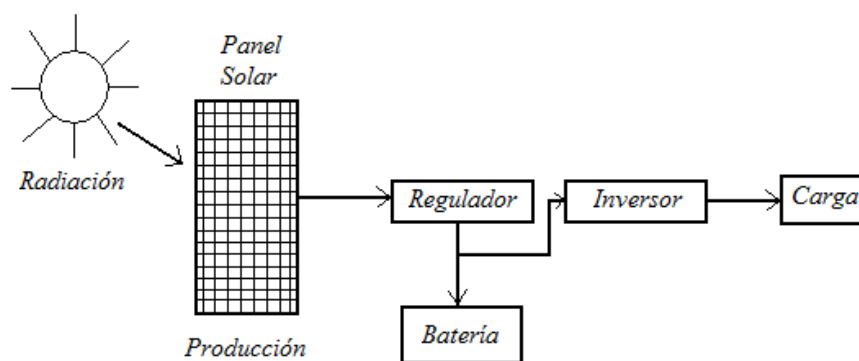


Figura 5.2. – Bloques funcionales de un sistema fotovoltaico

Es importante destacar dos conceptos que están implícitos en la definición:

- La *carga eléctrica* establece que bloques funcionales deben formar parte del sistema.
- Diariamente, el sistema deberá mantener un balance energético entre la cantidad generada y la consumida.

Para determinar el valor de una carga eléctrica existen dos valores variables de sistema a sistema: el *tipo* y el *régimen* de carga.

Existen tres *tipos de carga*: Los de corriente directa (cd), corriente alterna (ca) y mixtos (cd y ca).

El régimen de carga estará definido cuando se conozcan los valores de las siguientes 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 la carga.

La *cantidad de energía*, medida en Wh/día o KWh/día, dependiendo de la carga, se determinará por la cantidad y tipo de aparatos a conectarse, así también de las horas diarias que permanezcan activos.

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

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

Las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos grupos:

- *Sistema conectado a la red eléctrica*

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son sistemas en el que la energía fotovoltaica se convierte en energía alterna por medio de un inversor y se inyecta a la red [17].

- *Sistemas autónomos*

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son sistemas que de forma independiente suministran energía a una vivienda o a un equipo [17].

5.5. - Acumulación de energía

En el tiempo transcurrido desde que Planté fabricó la primera batería en 1860 hasta el momento presente el concepto del acumulador Plomo – ácido no ha sufrido cambios; sin embargo, la evolución tecnológica no se ha detenido, gracias a las cual este tipo de acumulador sigue siendo el sistema de acumulación más rentable para muchas aplicaciones [11].

Existen varias alternativas diferentes para el dimensionado de una instalación fotovoltaica en función a la tarea que deba cumplir el acumulador en ella [11].

Dentro de los acumuladores que mejor balance ofrecen entre costo y desempeño es la batería de Plomo-ácido y, en particular, la que contiene electrolito líquido. Hoy en día ya no es posible hablar de la batería de Plomo-ácido como si fuere un componente genérico que puede ser usado en distintas aplicaciones, ya que cada tipo representa un producto hecho para satisfacer un tipo específico de carga [3].

El mecanismo que permite la utilización de una batería recargable como una fuente portátil de energía eléctrica consiste en una doble conversión de energía, llevada a cabo mediante el uso de un proceso electroquímico reversible. La primera conversión, energía eléctrica en energía química, toma lugar durante el proceso de carga. La segunda, energía química en eléctrica, ocurre cuando la batería se conecta a la carga [3].

Las baterías usadas en los sistemas fotovoltaicos se denominan baterías solares. Como estas baterías admiten un alto porcentaje de descarga, suelen llamarse, baterías de ciclo profundo. Según esa misión el acumulador a utilizar se puede definir como [11]:

- Baterías de ciclo diario superficial.
- Baterías de ciclo anual.
- Baterías de ciclo diario profundo.

Baterías de ciclo diario superficial

Este modo de funcionamiento es el más suave para la batería, ya que su misión consiste en abastecer el consumo diario en horas de no insolación y garantizar un número de días de autonomía prefijado en base a los datos estadísticos de días nublados consecutivos en el lugar donde se hace la instalación. El acumulador debe cargarse totalmente antes de la puesta del sol y mantener este comportamiento a lo largo de todo el año [11].

Baterías de ciclo anual

Este modo de funcionamiento implica que el acumulador, además de abastecer el consumo diario durante la noche, debe suministrar energía en los meses de menor insolación, dando origen a una evolución cíclica anual del estado de carga. Además, el acumulador, en las condiciones mínimas de carga del ciclo anual, debe garantizar, unos días de autonomía pasados los cuales su capacidad final no debe ser inferior a un valor prefijado por el fabricante [11].

Baterías de ciclo diario profundo

La batería de ciclo diario profundo debe suministrar energía en las horas nocturnas pero no es capaz de garantizar, como en los casos anteriores, un número determinado de días de autonomía. En consecuencia, la instalación fotovoltaica sólo puede emplearse como un sistema de ahorro de otro tipo de energía disponible [11].

Para las baterías solares existen cuatro parámetros que se tienen que tomar en cuenta para hacer el diseño fotovoltaico [3].

- El valor máximo de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un determinado número de horas de descarga.
- La capacidad para acumular energía.
- La profundidad de descarga que puede soportar, sin dañarse, en forma repetitiva.
- La vida útil de la unidad, es decir, el máximo número de ciclos de carga y descarga.

La industria ha estandarizado la prueba que determina el valor de la máxima corriente de descarga. Esto permite comparar distintos modelos de baterías. El valor de la corriente máxima es aquel que permite una descarga continua de 20 horas de duración, al cabo de la cual la energía en reserva representa el 20% de la máxima con la que comenzó [3].

Los dos parámetros usados: corriente y tiempo, determinan que el valor derivado de la prueba esté dado en Amper-hora (Ah). Este valor representa la capacidad de la batería y de él se deriva el valor de la corriente máxima, para un dado régimen de descarga [3].

Por ejemplo, si la capacidad de una batería solar es de 200 Ah, la máxima corriente que el acumulador puede sostener durante la descarga es de 10 A (200/20). Esta forma de dar el valor de la corriente parece arbitraria, pero no lo es si recordamos que la máxima corriente de descarga, por definición, requiere un número específico de horas [3].

La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el producto del voltaje nominal por el número de Ah, este producto se mide en Watts-horas (Wh) o KWh, dependiendo de su valor. Por lo tanto [3]:

$$Wh = Voltaje_{nominal} * Ah \quad (31)$$

Otro parámetro importante en una batería solar es la profundidad de descarga (PdD), esta representa la cantidad de energía, dada en forma porcentual, que se extrae de una batería [3].

5.6. - Diseño del sistema fotovoltaico

A continuación se muestra el cálculo para el sistema fotovoltaico, aplicando los conceptos y parámetros mencionados en los subtemas 5.3, 5.4 y 5.5.

Primero se determinó el régimen y valor de la carga. Donde el régimen nos determina si el sistema tendrá o no un banco de reserva. El valor determina adicionando los consumos individuales, los que están dados por el producto de la potencia requerida por cada artefacto por las horas de uso que se le asigne. El valor energético esta dado en Wh/d (Watts horas por día). En el cálculo del bloque de generación (paneles solares) debe considerar el valor de las pérdidas en el sistema, ya que éstas deben ser compensadas si se quiere mantener un equilibrio energético [3].

El régimen y valor de la carga del sistema fotovoltaico es de:

1. El tipo de carga del sistema será de corriente alterna (CA).
2. El sistema tendrá un régimen nocturno, lo cual requiere un bloque de acumulación.
3. La carga estará constituida por:
 - 5 lámparas fluorescentes de 15 W.
 - 5 lámparas fluorescentes de 25 W.

Se contemplan dos consumos estacionales; invierno y verano:

Tabla 5.1.- Consumo estacionales en invierno y verano

Aparato	Potencia (w)	horas en uso invierno	Consumo invern(Wh/d)	Horas de uso verano	Consumo de verano(wh/d)
Lámpara1	15	5	75	4	60
Lámpara2	15	5	75	4	60
Lámpara3	15	4	60	3	45
Lámpara4	15	3	45	2	30
Lámpara5	15	3	45	2	30
Lámpara6	25	2	50	2	50
Lámpara7	25	2	50	1	25
Lámpara8	25	1	25	1	25
Lámpara9	25	1	25	1	25
Lámpara10	25	1	25	1	25
Total	200	27	475 Watts	21	375 Watts

- En invierno se consumen **475** Watts-hora al día.
- En verano se consumen **375** Watts-hora al día.

Las pérdidas a considerar son las siguientes:

- La disipación en los cables que conectan los paneles al resto del sistema. Es común asumir el 2% del valor de la carga.
- Las del banco de reserva durante la carga. Es común asumir el 2% del valor de la carga.
- Disipación en el control de carga e inversor. Se toma 2% del valor total del consumo invernal.

Observamos que tenemos el 6% de pérdidas. Como en la estación invernal es la de mayor consumo, y representa el caso más desfavorable, ya que el valor de la resistencia en los conductores es menor en el invierno (menor temperatura), el valor de la corriente es más elevado, debido a las pérdida por cobre (I^2R). Por lo tanto tenemos que generar para el invierno un total de:

$$Total_{invierno} = (475 Wh * 6\%) + 475Wh = 503.5wh/día \quad (32)$$

Para hacer el cálculo de nuestro bloque generador se tiene que tener en cuenta la ubicación del lugar donde se va a instalar el sistema fotovoltaico, ya que es importante contar con la insolación promedio del lugar. La ubicación del lugar a instalar el sistema fotovoltaico es el siguiente, considerando que el sistema se instalará al sur de Veracruz:

- Latitud: 18° 14' Norte
- Longitud: 95° 43' Oeste
- Elevación: 130 Metros.

La insolación promedio al día de la ubicación del lugar, de acuerdo a las gráficas de insolación (Ver apéndice A) es de 5,000 Wh/m². Por lo tanto un día solar (DS) promedio en esta región es de [3]:

$$DS = \frac{\text{Insolación promedio}}{\text{Un SOL}} = \frac{5000 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 5 \text{ horas} \quad (33)$$

La potencia mínima a instalarse durante el invierno es de:

$$\text{Potencia}_{\text{mínima a instalarse}} = \frac{503.5 \text{ Wh}}{5h} = 100.7 \text{ W} \quad (34)$$

Se utilizan tres paneles solares marca SIEMENS con una potencia máxima de 75 W cada uno, entonces se tiene una potencia máxima de 225 W, pero si consideramos una pérdida del 5 % por defectos del panel solar, tenemos una pérdida de 11.25 Watts (225*0.05). Por lo que los paneles solares están generando sólo 213.75 Watts (225-11.25). Existen también pérdidas por cambio de temperatura ambiente, ya que los paneles trabajan mejor en el invierno. La pérdida de potencia por cambios de temperatura ambiente está dada por la siguiente ecuación [3]:

$$W(T) = Wp - \left(Wp * \Delta * \frac{cd}{100} \right) \quad (35)$$

Donde:

W_p = Potencia del panel

C_d = Coeficiente de degradación porcentual de 0.8% (constante)

Δ = Incremento por sobre los 25°C

T = Temperatura de trabajo del panel

Por lo tanto los paneles solares generan un total de:

$$W(75) = 213.75 W - (213.75 W * (75 - 25) * 0.008) = 128.25 W \quad (36)$$

Los paneles tienen una capacidad promedio para generar en verano de:

$$Promedio a generar_{verano} = 128.25 W * 5 h = 641.25 Wh \quad (37)$$

Mientras que en el invierno tienen una capacidad aproximadamente de:

$$Promedio a generar_{invierno} = 213.75 W * 5 h = 1068.75 Wh \quad (38)$$

Estos resultados cubren los 503.5 Wh/día a generar en el invierno.

Como el sistema es del régimen nocturno, esto nos indica que debe de llevar un banco de reserva donde se acumulará la energía generada por los paneles solares. En la tabla 5.2 se muestra la mínima reserva que debe tener el sistema fotovoltaico para uno a siete días de consumo máximo.

Tabla 5.2. – Mínima reserva para días de uso del sistema

Días de uso	Mínima reserva Wh/d
1	475
2	950
3	1425
4	1900
5	2375
6	2850
7	3325

Se tiene que tomar en cuenta que no se debe de exceder el margen máximo del 80% para la profundidad de descarga, ni el 20% para el consumo diario. Por lo que este valor representa el 60% del máximo. En la figura 5.3 muestra un ejemplo de carga y descarga de un sistema fotovoltaico con 6 días de sol y 3 sin él [3].

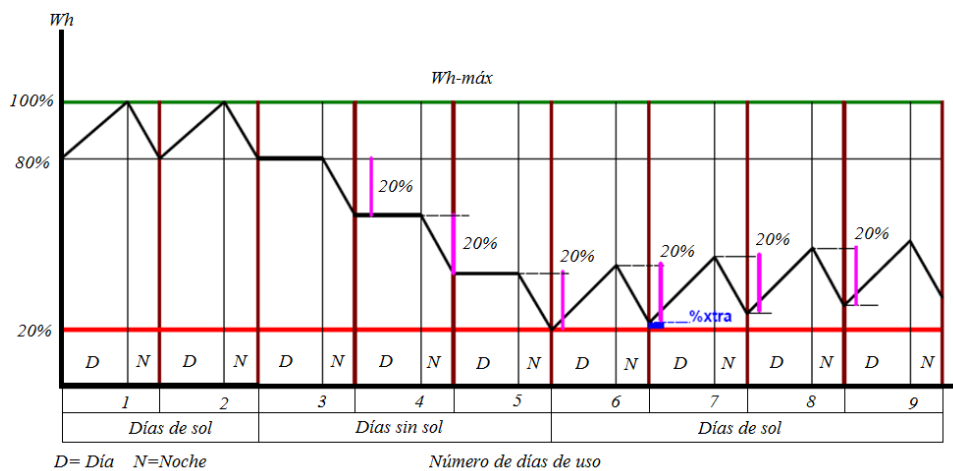


Figura 5.3. – Carga-descarga y recuperación de un banco de reserva [3].

En la tabla 5.3 se muestra la capacidad mínima que tiene que tener el banco de reserva para los días propuestos anteriormente ($\text{Mínima reserva}/_{0,6}$):

Tabla 5.3. – Capacidad mínima del banco de reserva para 1 a 7 días de consumo

Días de uso	Capacidad mínima instalada Wh
1	791.6666667
2	1583.333333
3	2375
4	3166.666667
5	3958.333333
6	4750
7	5541.666667

Los resultados anteriores son para un sistema fotovoltaico que maneja una potencia de 200 Watts. La carga mencionada es para implementarse en iluminación con lámparas fluorescentes que funcionan a 120 V_{rms} a 60Hz. Por lo que en el siguiente capítulo se hace el diseño y simulación de los convertidores que transforman la energía generada por los paneles solares y batería en energía para ser utilizada por el sistema fotovoltaico diseñado en este capítulo.