



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIO SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**Celdas fotovoltaicas para electrificación  
rural**

**TESIS**

**Que para obtener el Título de:  
INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA**

**Presenta:**

**Jessica Sánchez Cuevas**

**Asesor:**

**M. en I. José Juan Contreras Espinosa**

**Cuautitlán Izcalli, Estado de México**

**Marzo 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA.**

### **A MI FAMILIA**

**A ella que siempre me escucha, que siempre me apoya, la que me enseño a no darme por vencida y creer que siempre vendrá algo bueno, pero sobre todo ella, que nunca ha dejado de creer en mí, mi mejor amiga . Mi madre.**

**A él que me ha hecho más fuerte día con día y me ha ayudado a aferrarme a mis objetivos. Mi padre.**

**A mis hermanos que me alegran la vida día con día.**

## **Índice**

### **Introducción.**

### **Capítulo 1. Energía solar y sus propiedades**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Carácter ondulatorio de la luz
- 1.3 La energía solar
- 1.4 ¿Qué se puede hacer con energía solar?
- 1.5 Usos posibles de la energía solar

### **Capítulo 2. Funcionamiento de las celdas solares**

- 2.1 Introducción
- 2.2 Celdas Fotovoltaicas
- 2.3 Estructura de una celda solar
- 2.4 Radiación solar
- 2.5 Orientación
- 2.6 Ángulo de inclinación
- 2.7 Potencia pico a pico
- 2.8 Sistemas de energía
- 2.9 Baterías

### **Capítulo 3. Aplicaciones**

- 3.1 Introducción
- 3.2 Sistemas Aislados
- 3.3 Electrificación rural
- 3.4 Aplicaciones agrícolas
- 3.5 Aplicaciones Ganaderas
- 3.6 Iluminación y señalización

### **Capítulo 4. Electrificación rural**

- 4.1 Introducción
- 4.2 El desarrollo en el mundo rural
- 4.3 La electricidad en el medio rural
- 4.4 Energía solar Fotovoltaica

## **Capítulo 5. Metodología para realizar un proyecto de electrificación rural**

5.1 Estudio de la Comunidad

5.2 Descripción del sistema Fotovoltaico para uso de un proyecto

5.3 Instalación Fotovoltaica aislada

5.4 Normatividad en México

5.5 Proyectos en México

## **Capítulo 6. Conclusiones**

### **Bibliografía**

## Introducción.

En nuestra época la energía solar es indispensable para la vida, ya que es el elemento principal que permite poder realizar la transformación y la maquinación de la materia prima así como también poder tener iluminación durante las noches siendo uno de los factores que mueve la industria, el transporte y el confort en nuestros hogares.

Tener alternativas para obtener energía eléctrica en nuestra época es tema que busca soluciones factibles y redituables. El aprovechamiento de la energía solar en la actualidad es muy importante, puesto que una fuente alternativa proviene de sol, que no causa contaminación ambiental y que puede ser usada en forma autónoma a adicionarla a la red eléctrica publica. Cuando se usa en forma autónoma, es posible dar solución a los problemas de energía para los equipos electrónicos aplicados a la comunicación, telefonía, control de contaminantes en donde se generan gases inflamables por la extracción de hidrocarburos, señalizaciones en plataformas marinas, electrodomésticos en las grandes ciudades y en las comunidades rurales o alejadas de los grandes centros de distribución, pero esto solo es posible si se tiene un buen sistema de generación solar y desde luego un sistema eficiente de conversión CD-CD o CD-CA.

Es por ellos que no es difícil imaginar un futuro en el que todo hogar y edificio tenga su propia fuente de energía eléctrica, algunos especulan incluso que los vehículos serán propulsados por electricidades mediante celdas fotovoltaicas incrustadas en el pavimento.

La construcción de celdas fotovoltaicas se ha generalizado debido a la falta de sistemas de redes eléctricas y a las grandes áreas rurales y despobladas que el mundo posee actualmente; desde la década del 90' la tecnología fotovoltaica se emplea para suministrar electricidad a diferentes aplicaciones como sistemas de telefonía satelital, educación vía satélite, seguridad y control de plataformas marinas no tripuladas, entre otras aplicaciones. Las celdas fotovoltaicas no son de bajo costo pero son aplicables en electrificación y telefonía rural como bombeo de agua y protección catódica. Los costos de generación e inversión se encuentran en el rango de 3,500 a 7,000 US\$/KW instalado y de 0,25 a 0,5 dólares por KWh generado; esto nos permite apreciar que *la* expansión de la industria de energía solar se expandirá en muy poco tiempo y que los módulos o paneles solares parecen ser los precursores. En conclusión y objetivo de esta investigación es la justificación de que las celdas son el motor de cualquier sistema que

requiera electricidad, mientras que los rayos solares, el combustible para que las celdas funcionen correctamente; su garantía es no menor a 25 años lo que implica una grana ahorro en mantenimiento o arreglos.

## Capítulo 1. Energía solar y sus propiedades

### Introducción

En este capítulo se describe el carácter ondulatorio de la luz, los factores que afectan la radiación solar y la cantidad de energía generada por el sol, así como una breve descripción hacer de lo que podemos realizar con la energía solar.

### 1.2 Carácter ondulatorio de la luz

La luz se propaga por un movimiento ondulatorio o de ondas. Esta idea, emitida por Huyghens en el siglo XVII, fue recogida por Young a principios del siglo XIX, y más tarde desarrollada sucesivamente por Fresnel y Maxwell. Éste precisando la noción de onda transversal y considerándola una deformación electromagnética. Se puede explicar de esta manera los fenómenos de difracción, interferencia y polarización. Según la teoría electromagnética, la onda luminosa está representada en cada punto de sus esferas de emisión, por un plano perpendicular a la dirección de propagación. En este plano están inscritos dos vectores oscilantes perpendiculares entre si, uno eléctrico y el otro magnético. En otros términos una radicación sería una variación periódica, en el espacio, de un campo eléctrico y un campo magnético combinados.

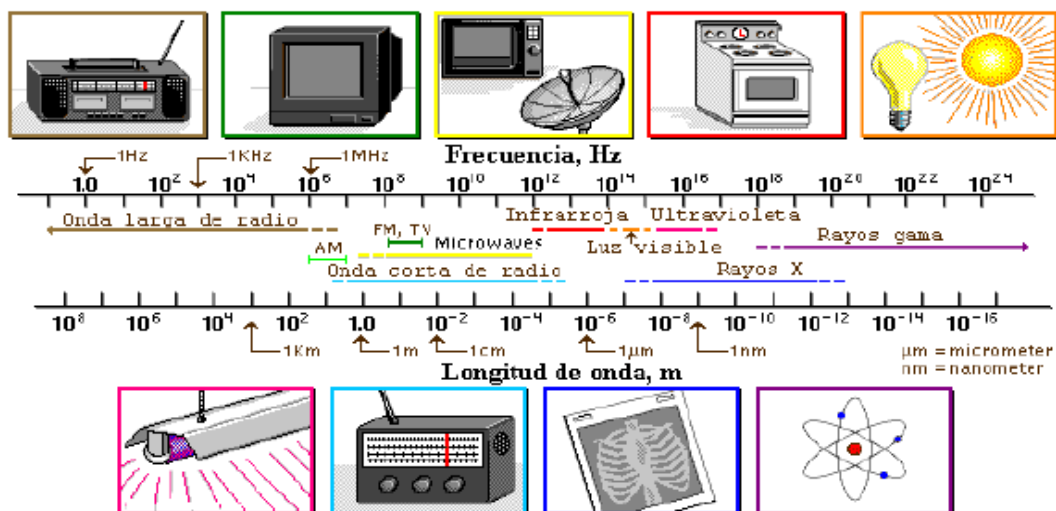


Figura 1.1. Diversos campos de aplicación de ondas electromagnéticas

### **1.3 La energía solar**

Una energía garantizada para los próximos 6.000 millones de años.

El sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la Historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos como aprovechar la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el firmamento desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

Durante el presente año, el sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir.

Algunos estados de la república Mexicana, por su privilegiada situación climatológica, en cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1.500 kilovatios-hora de energía aproximadamente (6 kWh/m<sup>2</sup> por día). Esta energía puede aprovecharse directamente, o bien ser convertida en otras formas útiles como, por ejemplo, en electricidad.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente de energía gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o simplemente no renovables.

Es preciso, no obstante, señalar que existen problemas que debemos afrontar y superar. Aparte de las dificultades que una política energética solar avanzada conllevaría por sí misma, hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas. Así, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, pero en verano la radiación solar es muy intensa.

Es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala planetaria.

### **1.4 ¿Qué se puede hacer con la energía solar?**

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad.



El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tiene que ver entre si, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación

Las celdas solares, dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa (por ejemplo sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. Incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, obteniendo un importante beneficio.

Si se consigue que el precio de las celdas solares siga disminuyendo, iniciándose se fabricación a gran escala, es muy probable que, a mediados del siglo XXI, una buena parte de la electricidad consumida en los países ricos en el sol tenga su origen en la conversión fotovoltaica.

La energía solar puede ser perfectamente complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación. Así, una casa bien aislada puede disponer de agua caliente y calefacción solares, con el apoyo de un sistema convencional a gas o eléctrico que únicamente funcionaria en los periodos sin sol. El costo del pago sin la existencia de la instalación solar.

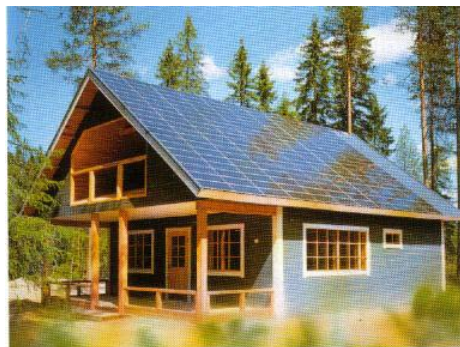


Fig. 1.2 Casa con paneles solares para obtener energía del sol

## **1.5 Usos posibles de la energía solar.**

En una lista parcial de posibles usos de la energía solar, figuran:

Calefacción domestica

Refrigeración

Calentamiento de agua

Destilación

Generación de energía

Fotosíntesis

Hornos solares

Cocinas

Evaporación

Acondicionamiento de aire

Control de heladas

Secado

Se hay ensayado todos los usos citados de la energía solar a escala de laboratorio, pero no se ha llevado a escala industrial. En muchos casos, el costo de la realización de estas operaciones con energía solar no se puede competir con el costo cuando se usan otras fuentes de energía por la gran inversión inicial que es necesario para que funcionen con energía solar y por ello la mayor parte de los estudios de los problemas de utilización de esta energía esta relacionado con problemas económicos.

Las instalaciones solares pueden considerarse clasificadas por tres tipos de aplicación. Primero, hornos solares, usados como medio de laboratorio para obtener altas temperaturas en diversos estudios y propuestos para usos semindustriales. En segundo lugar los usos potenciales de disposiciones solares sencillas, como cocinas, refrigerantes y bombas de irrigación en regiones no industrializadas, con radiación segura y en donde los actuales recursos de energía no son satisfactorios o resulten caros. Un tercer grupo

de aplicación de energía solar podrá competir en el futuro económicamente con otras fuentes de energía en algunas zonas de países industrializados, como los E.U.A., si los adelantos técnicos en este campo o los cambios en el costo de la energía de otras fuentes llegan a alterar su costo relativo.

## **Capítulo 2. Funcionamiento de las celdas solares.**

### **2.1 Introducción**

En éste capítulo se describe el efecto fotovoltaico desde su descubrimiento, se muestra los tipos de celdas solares, su estructura, eficiencia. Además se muestra el mapa de la radiación que llega a nuestro planeta, cómo se orientan dichas celdas, los tipos de sistemas en base a la energía solar y por último los sistemas de almacenamiento de la energía proveniente de las celdas solares, como son las baterías y el mantenimiento necesario para asegurar un buen funcionamiento del sistema de conversión de energía CD-CA.

### **2.2 Celdas Solares (Celdas Fotovoltaicas).**

Fotovoltaica es la conversión directa de la luz en electricidad a nivel atómico. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

El primero en notar el efecto fotoeléctrico fue el físico francés Edmund Becquerel, en 1839. Él encontró que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando eran expuestos a la luz. En 1905, Albert Einstein describió la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico, en el cual está basada la tecnología fotovoltaica. Por este trabajo se le otorgo el premio nobel de física. El primer modulo fotovoltaico fue construido en los laboratorios Bell en 1954. Fue descrito como una batería solar y era más que nada una curiosidad, ya que resultaba demasiado costoso

como para justificar su utilización a gran escala. En la década de los 60's, la industria espacial comenzó por primera vez a hacer uso de esta tecnología para proveer la energía eléctrica a bordo de las naves espaciales. A través de los programas espaciales, la tecnología avanzó, alcanzó un alto grado de confiabilidad y se redujo su costo. Durante la crisis de energía en la década de los 70's, la tecnología fotovoltaica empezó a ganar reconocimiento como una fuente de energía para aplicaciones no relacionadas con el espacio.

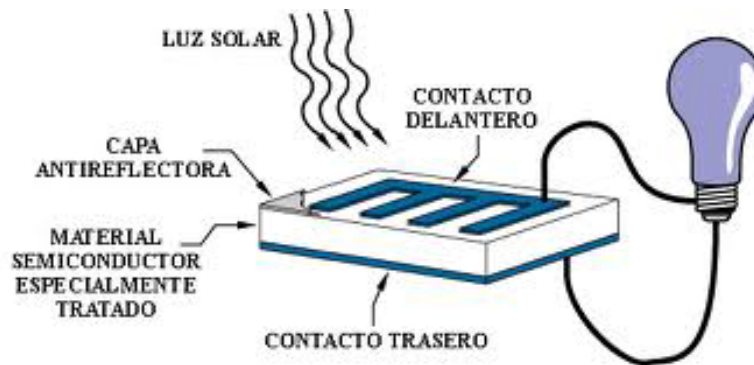


Figura 2.1 Funcionamiento y elementos de una celda solar

Las celdas solares están hechas de la misma clase de materiales semiconductores, tales como el silicio, que se usan en la industria microelectrónica. Para las celdas solares, una delgada rejilla semiconductor es especialmente tratada para formar un campo eléctrico positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la energía luminosa llega hasta la celda solar, los electrones son golpeados y sacados de los átomos del material semiconductor. Si ponemos conductores eléctricos tanto del lado positivo como del negativo de la rejilla, formando un circuito eléctrico, los electrones pueden ser capturados en forma de una corriente eléctrica, es decir, en electricidad. La electricidad puede entonces ser usada para suministrar potencia a una carga, por ejemplo para encender una luz o energizar un equipo eléctrico.

Varios módulos pueden ser conectados unos con otros para formar un arreglo (Figura 2.2). En general, cuanto más grande es el área de un módulo o arreglo, más electricidad será producida. Los módulos y arreglos fotovoltaicos producen corriente directa (CD). Estos arreglos pueden ser conectados tanto en serie como en paralelo para producir cualquier cantidad de voltaje o corriente que se requiera.

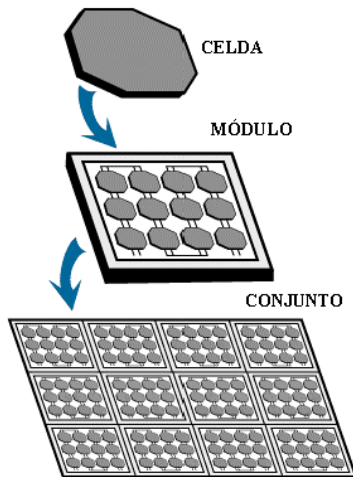


Fig. 2.2 Arreglo de celdas

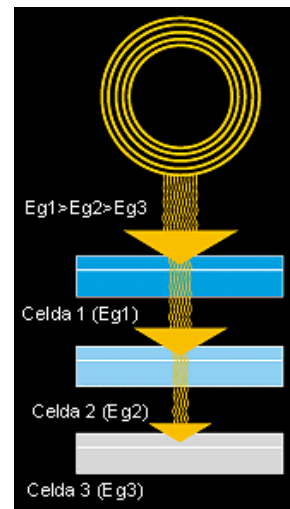


Fig. 2.3 Tandem

Hoy en día los dispositivos fotovoltaicos (FV) mas comunes usan una sola juntura o interface para crear un campo eléctrico dentro de un semiconductor, como por ejemplo una celda FV. En una celda FV de una sola juntura, solamente aquellos fotones cuya energía sea igual o mayor a la del espacio interbanda del material de la celda, pueden liberar un electrón para ser usado en un circuito eléctrico. En otras palabras, la reacción fotovoltaica de las celdas de una sola juntura está limitada a la porción del espectro solar cuya energía esté por encima del espacio interbanda del material absorbente, y por tanto aquellos fotones con energías más bajas no son utilizados.

Una manera de sortear esta limitación es usando dos (o más) celdas diferentes, con más de un espacio de banda y más de una juntura, para generar el voltaje. Este tipo de celdas es conocido como celdas “multijuntura” (también llamadas celdas “de cascada” o “tándem”) Fig. 2.3 Los dispositivos multijuntura pueden lograr una mayor eficiencia de conversión total porque pueden convertir una fracción más grande del espectro luminoso en electricidad.

Como se muestra en la Fig. 2.4, un dispositivo multijuntura es un conjunto de celdas individuales de una sola juntura, colocadas en orden descendente de acuerdo a su espacio de banda ( $E_g$ ). La celda más alta captura los fotones hacia abajo para ser absorbidos por las celdas con espacios de bandas más bajos.

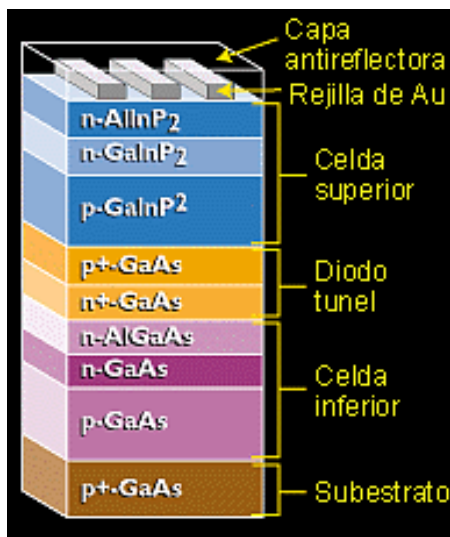


Fig. 2.4 Dispositivos Multijuntura

Muchas de las investigaciones que se realizan en la actualidad sobre celdas multijuntura están enfocadas al uso del arseniuro de galio en uno (o en todos) de los componentes de las celdas. Tales celdas han alcanzado eficiencias de alrededor de 35% bajo luz solar concentrada. Otros materiales estudiados para su uso en dispositivos multijuntura son por ejemplo, el silicio amorfo y el diselenuro de indio con cobre.

Como ejemplo de esto, el dispositivo multijuntura que se muestra en la Fig. 2.4, utiliza una celda superior de fosfato de indio con galio, una juntura de “túnel” para facilitar el flujo de electrones entre las celdas, y una celda inferior de arseniuro de galio.

### 2.3 Estructura de una celda solar.

Las celdas solares de silicio pueden ser de tipo monocristalinas, policristalinas o amorfas. La diferencia entre ellas radica en la forma como los átomos de silicio están dispuestos, es decir, en la estructura cristalina.

Existe, además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino tabla 2.1 tienen casi el mismo y mas alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.

Una celda solar típica está compuesta en capas. Primero hay una capa de contacto posterior, y luego dos capas de silicio. En la parte superior se encuentran los contactos

de metal frontales con una capa de anti flexión, que da a la celda solar su típico color azul.

Durante la última década, se han desarrollado nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre los que encontramos, por ejemplo, a las celdas de película delgada y a las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telururi de cadmio). Estas están comenzando a ser comercializadas.

Eficiencias de celda:	<b>Monocrystalina:</b>	<b>12-15%</b>
	<b>Policristalina:</b>	11-14%
	<b>Amorfa:</b>	6-7%
	<b>Telururo de cadmio:</b>	7-8%

Tabla 2.1 Eficiencia de celdas solares comerciales

## 2.4 Radiación solar

La intensidad de la luz solar que alcanza nuestro planeta varia según el momento del día y del año, el lugar y las condiciones climáticas. La energía total registrada sobre una base diaria o anual se denomina “radiación” e indica la intensidad de dicha luz. La radiación se expresa en Wh/m<sup>2</sup> por día o, también, en kWh/m<sup>2</sup> por día.

Con el fin de simplificar los cálculos realizados en base a la información sobre radiación, la energía solar se expresa en equivalentes a horas de luz solar plena. La luz solar plena registra una potencia de 1000 W/m<sup>2</sup>; por lo tanto, una hora de luz solar plena equivale a 1 kWh/m<sup>2</sup> de energía. Esta es, aproximadamente, la cantidad de energía solar registrada durante un día soleado de verano, con cielo despejado, en una superficie de un metro cuadrado de celda solar, colocada perpendicular al sol.

Puede qpreciarse en la Fig. 2.5 que la radiación solar media en superficie terrestre oscila entre un máximo de unos 275 W/m<sup>2</sup> en las regiones despejadas de nubosidad del Sahara y Arabia, hasta un mínimo de 75 W/m<sup>2</sup> en las islas brumosas de Artico. La media global es de W/m<sup>2</sup>.

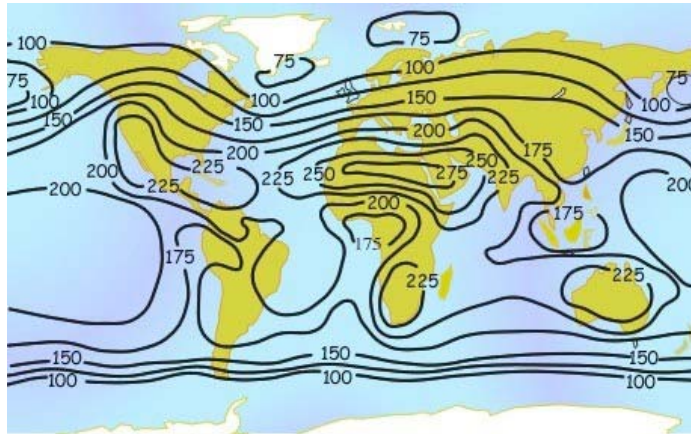


Fig.2.5 Radiación solar media recibida en superficie expresada en  $W/m^2$

La radiación varía según el momento del día, Sin embargo, también puede variar considerablemente de un lugar a otro, especialmente en regiones montañosas. La radiación fluctúa entre un promedio de 1,000 kWh/m<sup>2</sup> al año, en los países del norte de Europa (tales como Alemania), y 2,000 a 2,500 kWh/m<sup>2</sup> al año, en las zonas desérticas. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar.

Por ejemplo la luz solar plena registra una potencia de unos 1,000 W/m<sup>2</sup>. Esta luz, cayendo en perpendicular sobre una superficie de 1m<sup>2</sup> durante una hora, equivale a una energía de 1000 Wh o 1 kWh (Energía= Potencia multiplicada por tiempo). Del mismo modo, una radiación diaria promedio de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día corresponderá a 5 horas de luz solar plena al día.

## 2.5 Orientación

La luz solar viaja en línea recta desde el sol, hasta la tierra. Al penetrar la atmosfera terrestre, una parte se dispersa y otra cae sobre la superficie en línea recta. Finalmente, una última parte es absorbida por la atmosfera. La luz solar dispersa se denomina radiación difusa o luz difusa. La luz del sol que cae sobre la superficie sin dispersarse ni ser absorbida, es, por supuesto, radiación directa. Como todos habrán constatado gracias a los baños de sol y al trabajo al aire libre, la radiación directa es más intensa.



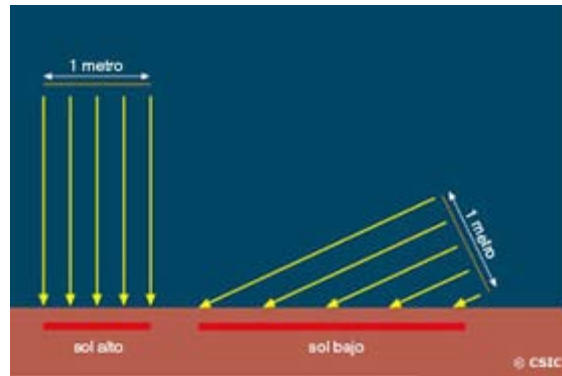


Fig. 2.6 Incidencia de rayos solares

Únicamente una pequeña fracción del total de luz solar alcanza, en efecto, la superficie de la tierra.

Un panel solar genera electricidad incluso en ausencia de luz solar directa. Por ende, un sistema solar generará energía aun cuando el día este nublado. Sin embargo, las condiciones optimas de operación implican: la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol, con le fin de aprovechar al máximo la luz solar directa. En el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y en el Hemisferio Sur, hacia el norte.

Por lo tanto, en la práctica, los paneles solares deberán ser colocados en angulo con el plano horizontal (inclinado). Cerca del ecuador, el panel solar deberá colocarse ligeramente inclinado (casi horizontal) para permitir que la lluvia limpie el polvo.

Una pequeña desviación en la orientación no influye significativamente en la generación de electricidad, ya que durante el día el sol se traslada de este a oeste.

Por ejemplo los porcentajes de rendimiento anual de un sistema FV con una inclinación de panel de 45°, para diversas orientaciones en Holanda tabla 2.2.

O	SO	S	SE	E
78%	94%	97%	94%	78%

Tabla 2.2 Porcentaje de rendimiento anual de un sistema fotovoltaico en Holanda

El rendimiento es máximo (100%) cuando los paneles tienen una inclinación de 36° y están orientados hacia el sur. Tal como puede observarse, las diferencias entre suroeste, sur y sureste es pequeña tabla 2.2

## 2.6 Angulo de inclinación

El sol se desplaza de este a oeste. Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con éste a mediodía. Por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o una estructura y tiene posición fija; no pueden seguir la trayectoria del sol. Por lo tanto, no estarán orientados hacia el astro con un ángulo óptimo ( $90^\circ$ ) durante toda la jornada. El ángulo entre el plano horizontal y el panel solar se denomina ángulo de inclinación.

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales Fig. 2.7 En invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, entonces en posición optima para el sol del invierno. Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado el algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno. Cada latitud presenta un ángulo de inclinación óptimo. Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al ecuador.

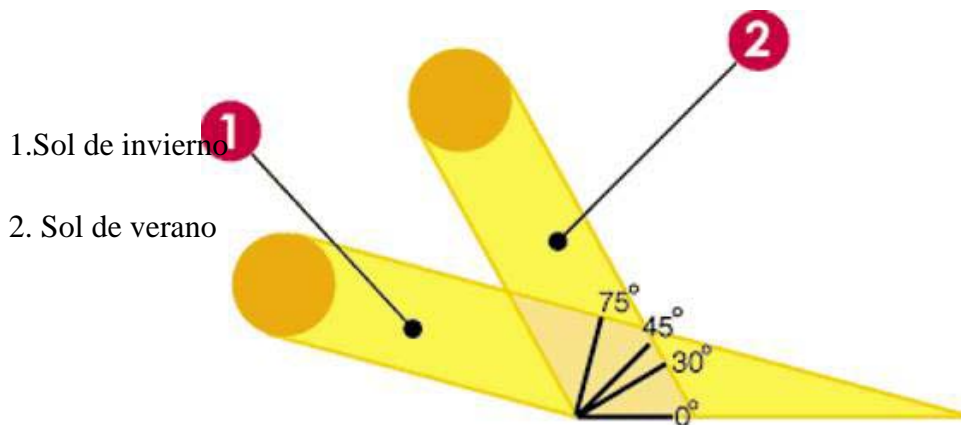


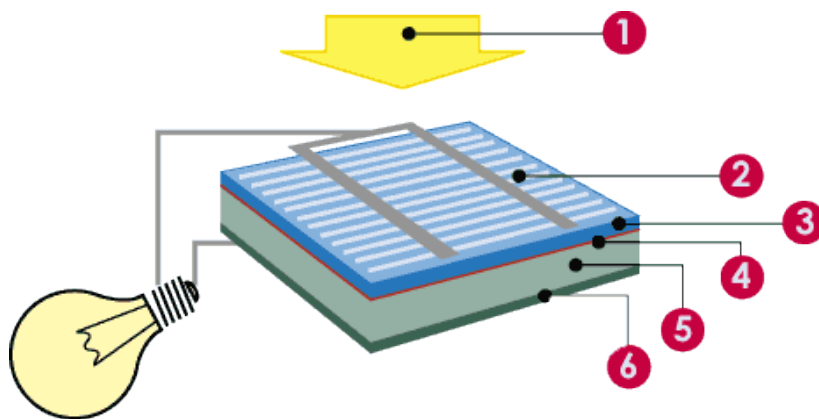
Fig. 2.7 Angulo de inclinación optimo en verano e invierno

Ligeras desviaciones de unos 5 grados con respecto del ángulo de inclinación optimo tienen solo un efecto menor en la producción de energía. Las diferencias a causa de las condiciones climáticas son más importantes en la producción de energía. En el caso de los sistemas autónomos, el ángulo de inclinación óptimo depende del patrón de demanda mensual.

Por ejemplo en Holanda (52° latitud norte), el ángulo de inclinación óptimo para un sistema conectado a la red es de 36°. Sin embargo, en este país, para un sistema autónomo con igual demanda de energía anual promedio, el ángulo de inclinación óptimo es de aproximadamente 65-70°.

## 2.7 Potencia Pico.

Al ser expuesta a la luz, una celda solar produce electricidad. Dependiendo de la intensidad de la luz (la radiación en  $W/m^2$ ), una celda solar produce mayor o menor cantidad de electricidad, la luz solar plena es preferible a la sombra y, a su vez, la sombra es mejor que la luz eléctrica. Para hacer una comparación entre diferentes celdas y paneles solares es necesario conocer la llamada “potencia nominal” de los mismos. La potencia nominal, expresada en Watts pico o  $Wp$ , es una medida que indica cuanta energía puede producir dicho panel solar bajo condiciones óptimas de operación, la Fig. 2.8, muestra un panel solar recibiendo energía solar, las partes que la componen, y una lámpara incandescente que es energizada con corriente eléctrica obtenida por efecto fotovoltaico.



- |                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| 1. Luz (fotones) | 2. Contacto Frontal   |
| 3. Capa negativa | 4. Capa de desviación |
| 5. Capa positiva | 6. Contacto posterior |

Fig. 2.8 Partes de una celda solar

Para determinar y comparar la potencia nominal de los paneles solares, se mide su salida bajo condiciones estándar de prueba (SCT).

Estas son:

Una radiación de 1,000 W/m<sup>2</sup>.

Un espectro solar de referencia de AM 1.5 (que define el tipo y color de la luz)

Una temperatura de celda solar de silicio cristalino, con dimensiones típicas de 10 x 10 cm, registra una potencia pico a pico de 1.5-Watt pico aproximadamente. LA mayoría de paneles de 1 metro cuadrado registran una potencia nominal de unos 100 Wp (si están compuestos por celdas de silicio cristalino, para ser precisos).

## **2.8 Sistemas de energía**

Para utilizar paneles solares como fuente de energía segura y confiable, es necesario contar con los siguientes componentes adicionales: cables, una estructura de soporte y, dependiendo del tipo de sistema (conectado a la red, autónomo o de emergencia), un convertidor (CD-CA) o un controlador de carga y baterías. El sistema completo se denomina sistema de generación de electricidad solar.

Existen tres tipos de sistemas de generación solar.

Sistemas solares autónomos o fotovoltaicos domiciliarios (SFD).

Sistemas solares conectados a la red pública.

Sistemas solares de emergencia. Sistemas de generación de electricidad solar utilizados para generar electricidad cuando no hay (temporalmente) una red de distribución pública.

## **2.9 Baterías**

En los llamados sistemas solares autónomos o sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SDF), las baterías almacén energía que será utilizada durante la noche para iluminación o para ver televisión. Asimismo, suministran electricidad durante periodos de escases o

ausencia de luz solar, necesaria para que el panel solar produzca energía. La duración del periodo que puede ser cubierto está determinada por la demanda de electricidad y la capacidad de almacenamiento de la batería. Fig. 2.9

En los sistemas solares de emergencia, las baterías son utilizadas para cubrir periodos de corte fluido eléctrico de la red. Los sistemas conectados a la red más común (en los lugares donde la red de distribución pública es confiable) no usan baterías.



Fig. 2.9 Baterías para almacenar energía

Las baterías están disponibles en diversas formas y tamaños Fig. 2.9. Las de 12V son las más utilizadas. Si las baterías son nuevas y son del mismo tipo y tamaño, pueden ser conectadas para incrementar la capacidad del almacenamiento de batería.

Algunos sistemas solares están provistos de baterías solares especiales. Otros utilizan baterías para auto comunes. Sin embargo, deben preferirse las primeras, ya que están adaptadas para su uso en sistemas solares y su tiempo de vida será considerablemente más largo.

Por lo general, las baterías son la parte más delicada de un sistema solar y la primera en ser reemplazada. Algunas recomendaciones para ayudar a extender el tiempo de vida de las baterías son las siguientes:

El uso de un controlador de carga es altamente recomendable. Éste desconecta las cargas cuando la batería se encuentra casi completamente descargada. Todos los sistemas solares domiciliarios estándar cuentan con un controlador de carga.

Asegúrese de que haya relación entre el número de paneles solares, el tamaño de las baterías y el número de cargas electrónicas (luces, artefactos eléctricos) y sus respectivos consumos.

Observar el controlador de carga para verificar el estado de carga de la batería (cuando aún se encuentra cargada). Por lo general, el controlador está provisto de un indicador luminoso rojo, que se enciende cuando la batería está descargada, y un verde, que se enciende cuando está completamente cargada. Procurar que el indicador verde permanezca encendido el mayor tiempo posible. Esto extenderá el tiempo de la batería.

Dar mantenimiento a la batería (llenándola con agua destilada) 3 veces al año como mínimo (si no se trata de una batería sin necesidad de mantenimiento).

Cargar al máximo la batería utilizando un cargador/generador, una vez al mes, puesto que ayuda a extender el tiempo de vida de la batería.

No ignorar las indicaciones del controlador de carga con el fin de extraer hasta la última gota de energía de la batería.

La demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento determinan la duración del periodo de escasez de luz solar que podrá ser cubierto, al que se denomina “periodo de autonomía”: tiempo máximo durante el cual las necesidades básicas de electricidad pueden ser cubiertas, cuando no se cuenta con suministro de corriente producida por el panel solar. El periodo de autonomía es un parámetro utilizado para el dimensionamiento del sistema.

## **Capítulo 3. Aplicaciones**

### **3.1 Introducción**

La energía conseguida mediante generadores fotovoltaicos y sus aplicaciones son de una gran diversidad.

Si hacemos una clasificación general, se puede decir que se dividen en dos grandes apartados:

Sistemas aislados.

Conexión a Red.

Se han realizado proyectos en ambas aplicaciones, a continuación detallamos algunos ejemplos:

### **3.2 Sistemas Aislados**

Telecomunicaciones.

Electrificación rural.

Aplicaciones agrícolas

Aplicaciones ganaderas

Iluminación Pública

Señalización

Control

Desarrollo Rural

A continuación, y para detallar los apartados anteriores, vamos a realizar un pequeño análisis de cada uno de ellos:

Telecomunicaciones:

Telefonía móvil.

Repetidores de radio y televisión.

Postes S.O.S. de carreteras.

Telemando

Telecontrol para redes de riego.

Telemetría

Radares

Radiotelefonía en general y para militares o puestos de vigilancia forestal.

Telefonía rural vía satélite

Teleondas

Cabinas telefónicas de uso público.

Centrales de conmutación.

Radioenlaces

Sistemas TRUNKING

Cobertura de radio y comunicaciones en túneles del Ferrocarril.

Existen dos tipos de estaciones para telefonía móvil, las llamadas BTS, compuestas por un sistema híbrido fotovoltaico - diesel, con una potencia pico de panel fotovoltaico de 6 Kwp, donde la función del grupo electrógeno es solamente de apoyo. El segundo tipo de instalaciones son las llamadas RF que funciona solamente con paneles fotovoltaicos oscilando la potencia pico instalada entre 0,6 Kwp y 1,8 Kwp. Los telemandos y telecontroles con transmisión vía radio se utilizan mucho en aplicaciones relacionadas con el agua, depósitos, riegos, caudalímetros y, en general, para la toma y control de cualquier tipo de datos.

### **3.3 Electrificación rural.**

Viviendas de uso temporal.

Viviendas de uso permanente.

Electrificación centralizada con control individual de consumos por vivienda, en núcleos rurales

Electrificación de refugios y albergues de montaña.

Postas sanitarias. (iluminación, conservación de medicamentos y vacunas con frigoríficos)

Escuelas y centros comunales.



Puestos de policía y frontera.

La electrificación rural actualmente dispone de todas las comodidades que se puedan tener en un sistema de electrificación convencional, ya que la incorporación de nuevos inversores de onda senoidal, permite la utilización de cualquier electrodoméstico. Una de las aplicaciones más importantes actualmente es la electrificación de pequeños núcleos rurales con un sistema centralizado. Las ventajas que presenta con respecto a una instalación por vivienda, son las siguientes:

Menor coste de la instalación

Menores gastos de mantenimiento

Mayor comodidad para el usuario

Mayor seguridad de la instalación

Mejor rendimiento total.

Para gestionar la energía, se instala en cada una de las viviendas un equipo electrónico limitador de energía, programado para poder suministrar diariamente una energía al usuario, ahora bien, el equipo tiene que ser lo suficientemente inteligente, como para poder aumentar la energía asignada, si el estado de la batería es bueno, o lo contrario si es malo. Para simplificar y no realizar complicados tendidos eléctricos, la comunicación entre el equipo electrónico limitador y los inversores se realiza por la misma línea de 220 Vca con pequeñas variaciones en la frecuencia que no afectan en nada al funcionamiento el sistema.

El segundo gran inconveniente, la potencia del inversor y su rendimiento frente a pequeñas cargas, se ha solucionado con la instalación de varios inversores en paralelo, siendo uno de ellos (el maestro), el que actúa sobre el control de los demás (esclavos), de forma que si la potencia consumida es inferior a la suma de la potencia de todos los inversores, manda parar algunos de ellos hasta adecuarse a la potencia consumida.

La gran ventaja además es que todos los inversores tienen la capacidad de actuar como maestros y de esclavos, con esto aseguramos el suministro eléctrico frente a posibles averías de alguno de ellos.

### **3.4 Aplicaciones agrícolas:**

Bombes de agua, tanto en c/c como en c/a, (con batería).

Bombes de agua de accionamiento directo (sin batería).

Electrificación de naves.

Controles de riego.

Invernaderos (automatización de ventanas e iluminación).

Una de las aplicaciones con mayor importancia en la agricultura, por su sencillez de instalación y sobre todo por su nulo mantenimiento y total automatización son los bombes de agua de accionamiento directo, compuestos por un campo de paneles fotovoltaicos, un equipo electrónico y todo el sistema de controles y sensores del bombeo.

El equipo electrónico anteriormente mencionado, en bombes de pequeño caudal tiene como función obtener el máximo rendimiento del panel. En bombes de gran caudal tiene una segunda función que es convertir la corriente continua del panel fotovoltaico en alterna.

La ventaja principal de los bombes de accionamiento directo es que coincide la curva de radiación, con la curva de demanda de agua, además posibilita la extracción de agua en el medio rural donde la posibilidad de instalar una línea convencional es inviable por su alto coste.

Una segunda aplicación en el mundo agrícola, ha sido la electrificación de controles de riego y electroválvulas, que ha permitido una mejor distribución y ahorro del agua, fundamentalmente sistemas basados en el riego por goteo o a baja presión.

### **3.5 Aplicaciones ganaderas:**

Bombes de agua para proporcionar agua al ganado.

Electrificación de granjas. (iluminación, motores, esquiladoras, etc...)

Sistemas de ordeño y refrigeración de leche.

Electrificación de cercas.

Los bombes de accionamiento directo, detallados en las aplicaciones agrícolas, encuentran en las ganaderas un sitio de gran importancia. La fabricación de inversores de gran potencia, ha posibilitado poder acometer obras en el medio ganadero, para suministrar energía eléctrica a sistemas de ordeño, conservación de la leche (tanques de frío) y bombas de limpieza, así como la iluminación de naves, motores para el reparto de pienso, ventiladores, automatización de persianas para naves de ganado, invernaderos. Los motores de los equipos anteriormente detallados, en un principio y para conseguir un mayor rendimiento de la instalación se instalaban en C.C., posteriormente y gracias a los nuevos inversores de gran rendimiento, los motores son en C.A. consiguiendo una mayor seguridad en la explotación en caso de averías, ya que un motor en alterna es fácil de obtener, mientras que en continua es de fabricación especial. El inversor instalado, para dar mayor seguridad al sistema es modular con varias etapas de potencia, de forma que puedan ser reparadas sin que el sistema se quede sin suministro.

### **3.6 Iluminación y señalización**

Iluminación:

Carteles publicitarios.

Farolas de alumbrado publico.

Paradas de autobuses.

El alumbrado público, mediante sistemas fotovoltaicos se presenta como una de las soluciones más económicas, para iluminar las entradas en los pueblos, cruces de carreteras, áreas de descanso, etc.

Actualmente se está instalando un nuevo tipo de farola, que no requiere ningún mantenimiento, al incorporar baterías estacionarias de larga duración con electrolito gelificado (más de 300 farolas en Canarias).

Señalización:

Faros y boyas de uso marítimo.

Radiofaros y radiobalizas de uso aéreo.

Señalización viaria para señalización de curvas, obstáculos, rotondas, etc. en ciudades y carreteras mediante led's.

Indicadores de hora y temperatura en vías públicas.

Pasos a nivel de Ferrocarriles.

Plataformas petrolíferas.

La utilización de la ESF a permitido la automatización de los faros, así como un aumento en la seguridad en las boyas donde antes se utilizaba el gas acetileno reduciendo de una forma importante el mantenimiento. Para el uso aéreo, se están utilizando paneles para alimentación de balizas y carteles de señalización en las pistas, podemos destacar el aeropuerto de Madrid y Baleares por la fácil identificación de las instalaciones.

Otra gran aplicación, que se ha sumado recientemente con mucha importancia en la seguridad vial, es la señalización de rotondas, curvas, señales de tráfico, obstáculos, etc. mediante led's de alta luminosidad, que por su bajo consumo permite realizar una instalación fotovoltaica de pequeño tamaño.

Sistemas Conectados a la red eléctrica.

Es una de las últimas aplicaciones y más novedosas de los sistemas fotovoltaicos, consiste en la instalación de un campo fotovoltaico y un inversor capaz de transformar la energía que suministran los paneles e inyectarla a la red eléctrica. El inversor en este tipo de instalación es el núcleo central y tiene que disponer de ciertas protecciones, ante situaciones que se pueden dar en la red eléctrica como son:

Tensión fuera de rango

Corte de la red

Desfase en la red.

Para conseguir la viabilidad económica de estos sistemas, el país debe de disponer de una normativa legal y unas líneas de ayudas económicas, que compensen el mayor costo por Kwh generado.

## **Capítulo 4. Electrificación Rural**

### **4.1 Introducción**

Es sabido que existen grandes desequilibrios entre unos países y otros en cuanto a consumo de energía primaria se refiere. Estas diferencias son tales que la cuarta parte de la población mundial, perteneciente al mundo industrializado consume las tres cuartas partes de la energía primaria en el mundo. Si lo que consideramos es una energía de alta calidad como es el caso de la electricidad, las desigualdades son mucho mas profundas, ya que su demanda aumenta según lo hace el nivel de desarrollo de los distintos países. Según estimaciones del banco mundial, actualmente de una población de unos 5500 millones de personas, 2000 millones no están conectados a ninguna red eléctrica, y 1000 millones no tiene acceso alguno a electricidad de Ningún tipo (estando todos estos en países menos desarrollados, cuya población suma un total de 4200 millones).

Dicho esto se puede concluir que la dependencia que hay entre la disponibilidad de una fuente energética y el desarrollo de la comunidad es muy grande. El no tener exceso a la

energía eléctrica tiene sus consecuencias importantes. Entre ellas cabe destacar la incomunicación (falta de teléfono, de medios audiovisuales, etc.), las condiciones desfavorables en la vida cotidiana (en los trabajos nocturnos, en el hogar, en la atención a la salud, en el estudio y la lectura de los más jóvenes etc.) y los problemas en la vida productiva (al no poder utilizar prácticamente motores).

Por otro lado, es un hecho igualmente patente que, tanto en los países ricos como en los pobres, la gran mayoría de la población sin electrificar se encuentra en zonas rurales, caracterizadas por unas poblaciones muy dispersas y alejadas de la red convencional. En los países pobres, además, es habitual que en las capitales sólo tengan acceso a la electricidad en el centro y en las zonas más ricas. Los suburbios carecen de este recurso. Es precisamente en este escenario donde la energía solar fotovoltaica puede jugar un papel muy importante.



Figura 4.1 El medio rural es uno de los escenarios más adecuados para la utilización de energía solar.

#### **4.2 El desarrollo en el mundo rural**

Aun cuando las diferencias entre las comunidades rurales aisladas del llamado primer mundo y el ruralismo de los países de frágil desarrollo económico sean muy marcadas, presentan una serie de características comunes, dignas de mención ya que son el asiento actual de las aplicaciones fotovoltaicas más comunes:

Acentuado aislamiento de los circuitos nacionales o internacionales de comercio.

Deficiencias en la comunicación con el exterior (carreteras, televisión, radio, etc.)

Poblaciones de pequeño p mediano tamaño, con importantes carencias en el equipamiento colectivo y familiar.

Organización social alrededor de la familia extensa o en grupos étnicos.

Existencia de lugares tradicionales y comunitarios de relación al aire libre (lavaderos, plazas, etc.)

Actividad económica dominante ligada al sector primario (agricultura, pesca), con complejas estrategias de supervivencia: autosuficiencia, pequeña comercialización, emigración, etc.

Cierta igualdad económico-social (rentas económicas parecidas, poca especialización profesional, etc.)

Pese a los rasgos comunes mencionados, este tipo de sociedades rurales presenta elementos socio-culturales propios muy diferenciados, que se manifiestan en los grupos étnicos, las creencias e incluso en alguna de las características que se han mencionado como comunes.

#### **4.3 La Electricidad en el medio rural**

Las necesidades de las zonas rurales pobres, en lo que abastecimiento de electricidad se refiere, se extiende en mayor o menor medida a los sectores doméstico, productivo y de servicios comunitarios.

A la hora de cuantificar tales necesidades en cada uno de los sectores, aparecerán grandes diferencias en las distintas regiones geográficas, en función de los rasgos climatológicos y culturales. Como por ejemplo, la zona rural de Sahel se caracteriza por poblados con más de un centenar de viviendas, lo que unido a la alta temperatura ambiente hace que predomine la vida comunitaria sobre la privada. El altiplano Boliviano, por el contrario, se caracteriza por viviendas dispersas y alejadas unas de otras, lo que junto a la baja temperatura ambiente hace que predomine la vida dentro de las viviendas. Obviamente, las necesidades del sector doméstico comparadas con las del sector servicios son menores en el Sahel que en el altiplano boliviano.

#### **4.4 Energía solar fotovoltaica.**

El sol representa un papel destacado en nuestra vida, y no hay mas que pensar en su influencia en los ciclos agrícolas o en la distribución de tareas a lo largo del día. Una influencia que ha llevado a numerosas civilizaciones a lo largo de la historia a dotar al sol de un fuerte valor simbólico, y una influencia de la que el hombre siempre ha tratado de sacar provecho.

La ESF es un claro ejemplo de aprovechamiento. Consiste en transformar la energía luminosa procedente del sol en energía eléctrica, mediante la exposición al sol de ciertos materiales convenientemente tratados (silicio purificado a partir de arena mediante complejos procedimientos, fundamentalmente), y la posterior recogida de la electricidad generada.

A grandes rasgos, los sistemas que aprovechan la ESF constan de un generador (celdas fotovoltaicas, responsables de la producción de electricidad), un acumulador (para poder almacenar la energía sobrante y utilizarla cuando sea necesario), y un regulador (elemento de control entre los anteriores y los equipos que consumen la energía). La posibilidad de almacenar energía para su posterior utilización permite adecuar los procesos de generación y consumo, si bien son ciertas limitaciones, como se verá mas adelante.

##### **Ventajas de la ESF**

Diversas son las características que confieren a la ESF el carácter de tecnología apropiada para las comunidades rurales:

El sol es una fuente de energía gratuita, ilimitada, autóctona y respetuosa con el medio ambiente, que favorece al autoabastecimiento energético y una menor dependencia del exterior.

Es una tecnología de diseño modular, que produce energía a cualquier escala permaneciendo constante el costo de la energía generada, y flexible o de fácil extensión.

Su manejo es sencillo, el mantenimiento básico puede realizarse en el ámbito local.

Suele motivar el desarrollo de otros sectores. En efecto, se conocen diversas experiencias en las que la electrificación del sector doméstico con ESF ha generado un



mercado fotovoltaico que ha ido evolucionando en el sentido de mejorar la calidad técnica de las instalaciones (mantenimiento incluido) y ampliar progresivamente el espectro de aplicaciones.

Ha demostrado su rentabilidad en aplicaciones de electrificación rural, frente a sistemas convencionales como los generadores diesel e incluso la extensión de la red eléctrica.

No resulta sencillo determinar en qué casos la opción fotovoltaica es la solución óptima para acometer un proyecto de electrificación rural. De hecho, no existe una frontera nítida entre una opciones y otras, pues la evaluación económica de las mismas exige establece hipótesis sobre el devenir a largo plazo de la situación económica (costos futuros de combustible, inflación, costo futuro de extensión de red eléctrica, etc.) No obstante pueden señalarse dos condiciones que justifican un planteamiento en principio favorable para la opción fotovoltaica, suponiendo que la red eléctrica no este disponible y no hay planes de que lo vaya a estar:

Hábitat disperso (núcleos de población con un número de viviendas inferior a 100)

Bajo consumo de electricidad.

Cuando se cumpla alguna de ellas, las condiciones particulares de cada caso (aislamiento, disponibilidad del sol, tipo de comunidad) deben ser analizadas con detalle para tomar la decisión final.

Inconvenientes y limitaciones

Se puede objetar que la tecnología fotovoltaica no es apropiada para las zonas rurales de los países pobres porque genera dependencia, ya que la tecnología necesaria para fabricar las celdas no estará, al menos a medio plazo, al alcance de estos países. Pero conviene matizar esta aseveración: en primer lugar, en el sentido en que las celdas fotovoltaicas (la tecnología mas compleja y menos accesible de la instalación) son el elemento mas fiable y de mayor duración, estimada entre veinte y treinta años; y en segundo lugar, porque no hay que olvidar que otras formas de generar electricidad también presentan esa limitación (tal es el caso de los generadores de diesel de fabricación occidental y de las palas eólicas).

Hoy en día, en general, no es posible llegar a sistemas de generación eléctrica fiables e independientes (hacerse con los equipos deseados) desde el nivel local, al menos en un primer estadio.

En cuanto a limitaciones inherentes a la ESF, cabe mencionar las siguientes:

**Energía disponible.** Pese a que los sistemas fotovoltaicos suelen contar con un elemento acumulador, ello no asegura una disponibilidad ilimitada de energía. El ejemplo del pozo de agua ilustra bastante bien esta limitación: si el ritmo de extracción es tan elevado que no permite la reposición del agua por filtración a través de las paredes del pozo, llegará un momento en que se seque. Con la instalación de celdas fotovoltaicas ocurre algo similar: si el consumo de electricidad procedente de los elementos generador y acumulador es superior al ritmo de recarga de este último, esto provocará un “agotamiento temporal” de la instalación, hasta que el sol restablezca de nuevo energía disponible. Es de importancia máxima la educación del usuario sobre la fuente energética y su forma de utilización.

La idea anterior pone de manifiesto la necesidad de relacionar estrechamente la generación/almacenamiento y el consumo, sobre todo en épocas de climatología adversa. Se puede decir que tales épocas suponen una especie de “alarma” para el usuario, para que relacione el consumo.

**Máxima potencia.** Los sistemas fotovoltaicos, en la mayoría de los casos, están diseñados para bajos niveles de consumo, habituales en las zonas rurales. La máxima potencia de dichos sistemas son capaces de entregar, estará limitada a valores relativamente bajos, aun en el caso de instalaciones centralizadas.

**Aplicaciones no recomendadas.** Las aplicaciones de la ESF son variadas, y a excepción del bombeo de agua, todas ellas tienen en común el uso final de la electricidad, bien sea para iluminación, bien para electrodomésticos. Las aplicaciones térmicas, tanto de frío como de calor (estufas, planchas, frigoríficos, eléctricos, etc.) consumen mucha potencia por lo que su uso está desaconsejado.

Un caso diferente lo constituyen los frigoríficos utilizados para almacenar vacunas y medicinas. Pese a que se trata de una cadena de frío, para la cual la ESF no está recomendada, es el gran valor social que estas aplicaciones representan para las comunidades carenciales (mejora de la salud comunitaria) lo que hace que incluso la

Organización mundial para la salud recomiende su uso (ésta ha desarrollado, además, una normativa internacional de obligado cumplimiento, para frigoríficos alimentados mediante ESF). Una consideración parecida merecen las aplicaciones para potabilizar el agua en las que también intervienen ciclos de calor.

## **Capítulo 5. Metodología para realizar un proyecto**

### **5.1 Estudio de la Comunidad**

Una vez que está decidido que el tipo de tecnología (en este caso la ESF) es técnicamente apropiada para una o varias comunidades, el punto de partida debe constituirlo un acercamiento a la comunidad, a sus grupos y estructuras sociales, para adoptar el programa en cuestión a las necesidades y demandas de la población. Algunos aspectos que se han de tener en cuenta, directamente relacionados con la comunidad, son:

Tamaño de la población. En función del presupuesto de que se disponga, ésta debe ser pequeña o de mediano tamaño (menos de 3000 habitantes).

Análisis de la vida material, y distribución de la propiedad. Esto es, que grupos participan en las distintas actividades productivas que son susceptibles de mejora con la nueva tecnología. No deben fomentarse las desigualdades sociales o las discriminaciones de grupos.

Organización social de la comunidad (hábitos asamblearios, colectivos, existentes, etc.)  
Una estructura más igualitaria económica y socialmente resulta más apropiada que otra con grandes diferencias.

Organizaciones familiar, espacial y productiva. Estas características son analizadas con mayor profundidad en la fase de diseño.

Se trata, en definitiva, de que el proyecto de desarrollo, respetando siempre la organización de la comunidad, responda lo más fielmente posible a sus necesidades sin crear falsas expectativas. Se lleva a cabo siempre en estrecha relación con la comunidad. El hecho de que la propia comunidad se identifique con él y lo adopte como “suyo” facilitará la buena marcha del proyecto en sus siguientes fases.

Con el fin de obtener todos los datos necesarios y hacer un buen estudio de la comunidad, en el que se distingan con claridad las necesidades de la comunidad, es imprescindible un acercamiento desde la perspectiva social.

#### Diseño del sistema y estudio económico

Esta fase debe realizarse siempre y cuando existan ciertas garantías sobre la viabilidad tanto técnica como social del proyecto en la comunidad involucrada. Nunca se deben realizar proyectos solo por no abandonar una idea inicial o por que se considere adecuado desde fuera. Un buen diseño técnico no garantiza el éxito del programa. Más vale rectificara a tiempo, pues en caso contrario se consiguen no solo resultados inútiles sino incluso perjudiciales en este proyecto concreto, y contraproducentes en general porque se puede llegar a crear rechazo a posteriores eventuales innovaciones tecnológicas.

#### Montaje

Se trata de la fase en la que el proyecto se realiza físicamente. Es muy importante analizar las primeras reacciones sociales que se generan en esta fase u que pueden dar lugar a modificaciones no previstas. La investigación social en esta fase es muy importante ya que en ella se inician los procesos de cambio a los que va a dar pie la nueva tecnología, y su integración en la actividad de la comunidad receptora. Es también fundamental en esta etapa una comunicación lo más fluida posible entre la comunidad receptora y los técnicos, teniendo el experto social una clara misión en este sentido. Desde el primer momento deben involucrarse al máximo las fuerzas locales para, entre otras cosas, dar lugar a una formación técnica-cultural que permitirá al sistema autosugestionarse cuando la intervención desaparezca. Este tipo de formación permite evaluar los recursos humanos locales y favorecer oportunidades de autodesarrollo. Al terminar el montaje de la instalación, deben estar formados los comités de gestión y mantenimiento.

#### Mantenimiento y evaluación

El mantenimiento de la instalación desde el punto de vista técnico es una tarea inevitable, que debe estar clara para todos, de manera que la instalación preste servicio correctamente y se prevengan problemas y disfunciones que puedan causar rechazo a la introducción de la nueva tecnología, además de las evidentes pérdidas económicas. En

está tarea se han de involucrar, en distinto grado, los propios usuarios, un equipo de mantenimiento preparado para tal fin, los responsables de la instalación y suministradores de equipos.

## 5.2 Descripción del sistema Fotovoltaico para uso de un proyecto

Un sistema fotovoltaico consta, principalmente, de los siguientes componentes:

1. El *generador fotovoltaico o campo de paneles*. Es el elemento captador de energía, que recoge la radiación solar y la transforma en energía eléctrica. Está formado por un conjunto de paneles o módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, que

Deben proporcionar la energía necesaria para el consumo. Como quiera que la irradiación solar varía en el tiempo debido a las condiciones climatológicas, la hora del día, etcétera y el valor de la intensidad de corriente que da el campo de paneles es aproximadamente proporcional a aquella, si queremos disponer de energía durante cualquier instante, es preciso contar con un acumulador de energía.



Figura 5.2.1 Generador Fotovoltaico

2. El acumulador. Se encarga de almacenar parte de la energía producida por los paneles (la que no se consume inmediatamente) para disponer de ella en periodos de baja o nula irradiación solar. La acumulación se realiza en forma de energía mediante el uso de baterías, usualmente de plomo-ácido, salvo en los casos que el generador fotovoltaico se

utiliza para el bombeo de agua exclusivamente, donde es preferible almacenar agua en los periodos de baja o nula insolación.

Cuando el acumulador es electroquímico (primer caso), éste cumple también dos importantes misiones:

Suministrar una potencia instantánea superior a la que el campo de paneles puede generar, necesaria para la puesta en marcha de algunos elementos (por ejemplo, el motor del refrigerador).

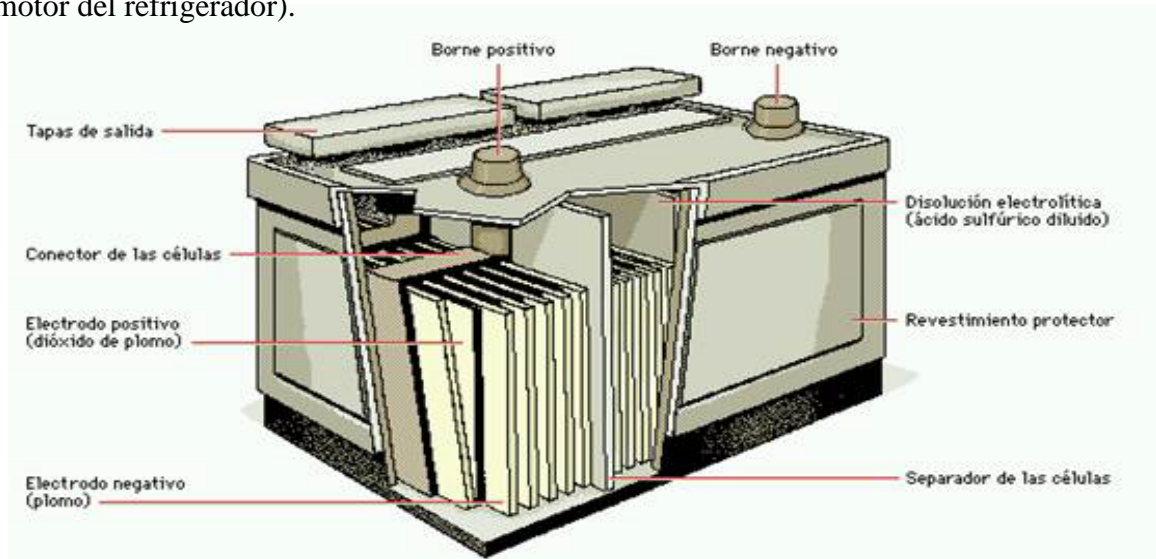


Figura 5.2.2 Batería

Determinar el margen de tensiones de trabajo de la instalación.

3. Los equipos de consumo (a veces denominados cargas). Son los equipos que se conectan al sistema y que consumen la energía del mismo (elementos de iluminación, pequeños electrodomésticos, motor-bomba en el caso de bombeo de agua, etc.). No es posible saber con certeza absoluta cuál va a ser el consumo total de dichos aparatos, pero es vital para un cálculo correcto del sistema, hacer una buena estimación del mismo. Asimismo, hay que tener cuidado en elegir equipos eficientes, para no derrochar energía.

---

<sup>1</sup> La unidad de medida de la irradiación en el Sistema Internacional es el Jul por metro cuadrado  $J/m^2$  si bien se usa más frecuentemente el  $Wh/m^2$  por comodidad. La relación entre ambas unidades es la siguiente:  $Wh/m^2 = 3600 J/m^2$ .

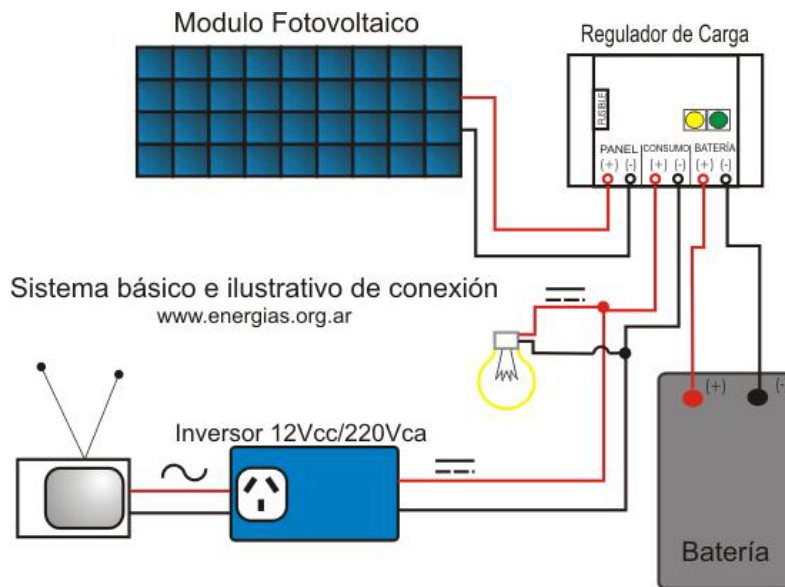


Figura 5.2.3 Generador Fotovoltaico

### Generador Fotovoltaico

El panel o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de celdas solares (que es donde se produce la conversión de energía solar en energía eléctrica) asociadas eléctricamente para proporcionar los valores de corriente y voltaje necesarios para una aplicación determinada, y convenientemente encapsuladas para proporcionar aislamiento y proteger a las celdas de la humedad y la corrosión.

El mercado ofrece diferentes tipos de módulos. El más característico está constituido por entre 32 y 36 celdas solares de silicio cristalino, todas de igual tamaño, asociadas en serie y encapsuladas, habitualmente, entre vidrio y un material plástico, con una resina polimérica (EVA) como relleno. En función del tamaño de las celdas, el área del módulo varía entre 0.1 y 0.5 m.

Presenta dos conexiones de salida, positivo y negativo, y a veces, alguno intermedio para permitir la instalación de diodos de paso. El objeto de estos diodos es proteger al panel del fenómeno del **“punto caliente”**.

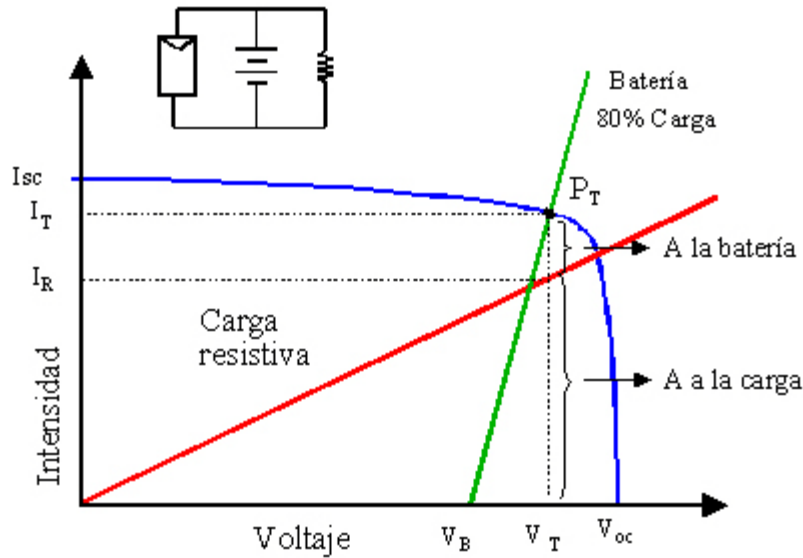


Figura 4.4. Curva característica de un generador fotovoltaico

El funcionamiento eléctrico de un módulo solar se representa mediante su curva característica, que representa la corriente que proporciona en función del voltaje que “ve”, y que típicamente presenta la forma de la Figura. 4.4.

La gráfica marca los valores posibles de voltaje y corriente, que principalmente dependen de la temperatura y de la radiación solar que reciben las celdas del módulo, respectivamente. El punto de funcionamiento A determinado por la “carga” que vea el módulo entre conexiones, vendrá dado por la pareja de valores de voltaje  $V$  e intensidad  $I$ , y el valor de la potencia que entrega se puede calcular mediante el producto  $V \times I$ .

#### Parámetros del Panel

Los principales parámetros que caracterizan un panel fotovoltaico son:

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ : Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel, y corresponde a la corriente que entrega cuando se conectan directamente las dos conexiones.  $I_{sc}$  suele rondar los 3<sup>a</sup>.

Tensión de circuito abierto  $V_{oc}$ : Es el máximo voltaje que proporciona el panel, correspondiente al caso en que las conexiones están “al aire”.  $V_{oc}$  suele ser menor de 22 V para módulos que vayan a trabajar a 12 V.



Punto de máxima potencia: Existe un punto de funcionamiento ( $I_{Pmax}$  y  $V_{Pmax}$  son algo menores a los de  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ ).

Factor de forma FF: El factor de forma es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto  $I_{sc} \times V_{oc}$  da una idea de la calidad del panel porque es una medida de lo inclinada que es su curva característica, de forma que cuanto mas se aproxima a la unidad, mayor potencia puede proporcionar. Los valores suelen estar entre 0.7 y 0.8.

Eficiencia de Rendimiento  $\eta$ : Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de ola radiación solar  $P_L$  incidente sobre el panel, habitualmente en torno al 10%.

Teniendo en cuenta las definiciones de factor de forma y del punto de máxima potencia, se llega a la siguiente igualdad:

Los valores de  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{Pmax}$  y  $V_{Pmax}$  los suministra el fabricante, refiriéndolos a una Condiciones Estándar (CE) de medida, de uso generalizado, definidas como sigue:

Irradiancia  $G(CE) = 1 \text{ kWh/m}^2$ .

A nivel del mar.

Para una temperatura de la celdas  $T_c(CE) = 25^\circ \text{ C}$ .

Para otras condiciones de irradiancia  $G$  y de temperatura  $T$  dichos valores cambian. A veces, el fabricante incluye gráficas o tablas con valores para condiciones estándar, como se indica posteriormente.

El valor de la potencia máxima en las condiciones estándar se indica normalmente en Watts-pico ( $W_p$ ). Simplemente se recalca con ello que es la potencia máxima (Watts) que puede entregar el modulo si las condiciones de medida son las arriba indicadas. Al adquirir un panel, es importante comprobar si es posible, que sus parámetros coinciden con los que suministra el fabricante. Para ello hay que tener en cuenta la variación del valor de los parámetros con las condiciones de irradiancia y temperatura.

El cálculo del número de paneles que necesitamos para cubrir nuestras necesidades de realiza a partir de los valores de intensidad y tensión para el punto de máxima potencia  $I_{Pmax}$  y  $V_{Pmax}$  puede corregirse añadiendo al sistema una pérdida de eficiencia del 5%.

### 5.3 Instalación Fotovoltaica aislada

Una vez realizado el estudio del proyecto en la comunidad, y habiendo optado por la solución fotovoltaica como la más apropiada, comienza la fase de diseño del sistema.

Ya sabemos que un sistema fotovoltaico se basa en la propiedad que tiene ciertos materiales de convertir la energía luminosa que reciben en energía eléctrica. La energía luminosa incidente total por unidad de área se le denomina *Irradiación global G* (a veces se emplea la palabra radiación como sinónima, aunque estrictamente hablando no lo es), y se mide en vatios-hora por metro cuadrado ( $\text{Wh/m}^2$ )<sup>1</sup>. Normalmente, la irradiación se refiere a un cierto periodo de tiempo, y así se habla, por ejemplo, de irradiación horaria, diaria o mensual, como la energía luminosa incidente por unidad de superficie en una hora, un día o un mes respectivamente.

Debido a la naturaleza aleatoria de la energía solar, no se puede determinar con exactitud la radiación que llegará a la superficie terrestre en el lugar de la instalación. Hay que conformarse con trabajar con datos estadísticos basados en la “historia solar” de lugar, datos normalmente recogidos en las estaciones meteorológicas, y también en tablas y bases de datos.

#### Calculo de Instalaciones Aisladas

Aunque las instalaciones conectadas a red cada día estén cobrando más fuerza, el empleo de la energía solar fotovoltaica en aplicaciones aisladas sigue contando con bastantes aplicaciones, lo que le confiere una importante cuota de mercado.

#### Dimensionado de una Instalación

El método de cálculo<sup>2</sup> se basa en el siguiente procedimiento:

Determinación de las cargas energéticas previstas que la instalación ha de satisfacer.

Determinación de la cantidad de energía incidente disponible en la ubicación de la instalación.

Determinación de las pérdidas por efecto de la orientación e inclinación del campo de captación (FI), así como de las sombras (FS), si las hubiese, y el valor de la constante K en función del periodo de diseño.

Determinación de la potencia mínima necesaria para asegurar el abastecimiento energético.

Determinación de la energía incidente en el plano de captación de los módulos solares.

Determinación de la potencia en función de los valores comerciales de los módulos solares y la configuración del sistema.

Determinación del almacenamiento necesario para asegurar una autonomía, frente a periodos de baja producción o consumos mayores a los previstos.

Determinación del Consumo de Energía de la Instalación

A la hora de diseñar un sistema hay que tener en cuenta dos aspectos referentes a las cargas de consumo:

Potencia de Carga

Horas de utilización de cada carga

La potencia de cada carga, es un dato esencial que se obtiene de las características de cada elemento de consumo.

Conjuntamente con la potencia de la carga, deberán especificarse las horas diarias<sup>3</sup> de utilización de dicha carga.

Puede ser difícil conocer con exactitud este dato en algunos tipos de cargas, pero se puede hacer una estimación de las horas de funcionamiento. Es el caso de los Refrigeradores, televisión y radio y pequeñas herramientas.

Otras pueden requerir al diseñador un mayor conocimiento del ciclo de funcionamiento del sistema. Por ejemplo, los equipos de comunicaciones requieren mucha más energía cuando funcionan en transmisión, lo que muchas veces ocurre solo durante algunos minutos al día, mientras que el resto del tiempo requieren un pequeño consumo de mantenimiento.

Hay que tener en cuenta estos matices de cada instalación en el diseño del sistema.

Según el sistema de alimentación a los puntos de consumo de la instalación, se pueden distinguir dos tipos de carga:

De corriente continua

De corriente alterna

Atendiendo a los tipos de cargas a alimentar, los 12 o 24 V normalmente se utilizaran como:

Pequeñas cabañas que solo precisen de alumbrado

Instalaciones pequeñas de transmisión de señales de control

Mientras que los sistemas que utilizan la asociación de acumuladores de 2 ó 6 V se usan donde se necesitan atender necesidades energéticas mas elevadas (48 ó 92V):

Electrificación de edificaciones aisladas con consumos elevados.

Sistemas de telecomunicaciones y repetidores de radio y TV.

Aplicaciones en general, con consumos elevados.

Consideraciones previas:

Los equipos de utilización que se utilicen han de ser de bajo consumo (alta eficiencia), como por ejemplo:

Fluorescentes

Lámparas electrónicas de bajo consumo.

Se evitarán las lámparas de incandescencia. Los refrigeradores generalmente tienen un alto consumo, por lo que en instalaciones pequeñas se recomienda el empleo de aquellas que funcionan a gas.

La lavadora no debe tener resistencia para agua caliente, por los mismos motivos que el caso anterior.

---

<sup>3</sup>Multiplicando la potencia por las horas de utilización, se obtendrán los Watts hora por la carga total al cabo de un día.

## 5.4 Normatividad

Normas relacionadas al ramo Solar según la Comisión Nacional para el uso de la Energía

NMX-ES-001-NORMEX - 2005-colectores solares eficiencia térmica y Funcionalidad...

NMX-ES-002-NORMEX- 2006 ENERGIA SOLAR-DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA – vocabulario solar

Norma ambiental del Distrito Federal

NADF-008-AMBT-2005, Especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavanderías y tintorerías.

Otras Leyes, Programas, Estrategias y Normas:

NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial.

Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos y su reglamento, esta iniciativa propone el uso de un combustible amigable para el ambiente que busca estabilizar los gases de efecto invernadero derivados del cambio climático.

Ley para el aprovechamiento de las fuentes renovables y el financiamiento de la transición energética

Estrategia Nacional para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía

Programa especial para el aprovechamiento de Energías Renovables 2009–2012

Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de ER y el Financiamiento de la Transición Energética

Miscelánea Fiscal: Ley de impuestos sobre la renta Artículo 40, fracción XII LISR, Impulso al uso de energía proveniente de fuentes renovables: Los contribuyentes del ISR que inviertan en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables...2005

## **5.6 Proyectos en México**

La mayor parte del desarrollo de la industria solar en México se ha dado a partir de proyectos de electrificación rural mediante la tecnología fotovoltaica, ante la necesidad del Estado de encontrar mecanismos viables para proporcionar el servicio eléctrico en las regiones más marginadas del país.

Como acciones del gobierno destacan los proyectos de Fomento a las Fuentes alternas de Energía en los Agro negocios y de energía renovables del Fideicomiso de Riesgo compartido (FIRCO), los cuales son financiados con recursos del Global Environment Facility (GEF), el Banco Mundial y el programa Pro- campo del Gobierno Federal, beneficiando a comunidades rurales remotas de los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz, con servicios energéticos de calidad.

La principal meta del “Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México 2007-2012” (PROCALSOL)

## **Capítulo 6. Conclusiones**

Considerando la capacidad energética del sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, resulta fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país

Los conceptos básicos de esta tecnología no son recientes, sin embargo en los últimos años se han emprendido

en el mundo diversos esfuerzos en paralelo orientados a simplificar el diseño de los sistemas colectores de manera que los materiales, estructuras y componentes que los integran son ahora más ligeros, fáciles de ensamblar y en consecuencia, sustancialmente menos costosos.

Esto ha detonado un renovado interés en esta tecnología, la cual empieza a aplicarse inclusive en la integración de nuevas plantas de generación eléctrica de varios cientos de Megawatts que generan electricidad exclusivamente con base en el vapor generado por estos sistemas solares.

Una limitante importante de esta tecnología en la actualidad, es que únicamente puede generar energía mientras esté disponible la radiación directa del sol. Sin embargo, existen importantes avances en el desarrollo de eficientes sistemas que permiten almacenar la energía generada en exceso durante el día y aprovecharla mientras ésta no se encuentra disponible, maximizando la continuidad de las operaciones de generación.

Cabe destacar que, en el marco del proyecto denominado “IMPULSA”, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se encuentra desarrollando actualmente investigación y desarrollo tecnológico en materia de aprovechamiento de la energía solar, tanto con tecnología fotovoltaica como termosolar, para la desalación de agua en el norte del país.

Nuestro país cuenta con gran potencial para el desarrollo de la energía solar, reconocido a nivel mundial, por lo que su fomento y desarrollo resultarán fundamentales en los próximos años para la obtención de los beneficios energéticos, económicos, sociales y ambientales que conlleva.

## **Bibliografía.**

- Martínez Julia, Fernández Adrián. Cambio Climático: una visión desde México. Secretaria de ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 1999.
- México, Cuarta comunicacional Nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático. 1ª Ed. 2010.
- De Bernard J. Nebel, Richard T. Wright. Ciencias Ambientales, ecología y desarrollo sostenible. 1999.
- Monasterio Ortiz Fernando, Tierra profanada: historia ambiental de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1987.
- Secretaria de Energía, Dirección Gral. De Política y Desarrollo Energéticos. Prospectiva del sector Eléctrico. 1999-2008.
- Sarmiento Pedro. Energía Solar en Arquitectura y Construcción. RIL Editores.2007.
- Bendaña Guillermo G. Energía para un desarrollo Rural sostenible, s.n.2004
- Arribas Luis, García Villas Marianela. Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo. Volumen 6. IEPALA Ed. 1999
- Seoáñez Calvo Mariano. Tratado de gestión del medio ambiente urbano. Colección Ingeniería del Medio Ambiente Series. Mundi prensa libros 2001.
- Luna Sánchez Luis. Instalaciones Eléctricas de baja tensión en el sector agrario y agroalimentario. Mundi Prensa libros 2008.

## **Cibergrafia.**

- Proenergy “Aprovechando la energía del sol”  
<http://www.proenergy.com.mx/ventajas.php>
- APROTEC Tecnología Apropriada  
[http://www.aprotec.org/pages/solar\\_pv.html](http://www.aprotec.org/pages/solar_pv.html)
- CONUEE Comisión nacional para el uso eficiente de la energía  
[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_normatividad](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_normatividad)
- Sitio solar (Portal de Energías renovables)  
<http://www.sitiosolar.com/normativamexicoDF.htm>