



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**“GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR  
MEDIO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS  
PARA EL MEDIO RURAL”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA**

**PRESENTA:**

**ANGEL GUZMAN REYES**

**ASESOR:**

**ING. FRANCISCO RAÚL ORTIZ GONZÁLEZ**

**SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO, 2012.**

---

---





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

*AGRADECIMIENTOS*

---

---

---

Introducción		I
<b>CAPÍTULO</b>	<b>1 LA ENERGÍA SOLAR</b>	<b>1</b>
	1.1 LA VÍA LÁCTEA	1
	1.2 LA ESTRELLA SOLAR	2
	1.2.1 EL NÚCLEO SOLAR	6
	1.2.1.1 ZONA CONVECTIVA Y ZONA RADIANTE	9
	2.2.1.2 LA FOTÓSFERA	9
	2.2.1.3 CROMÓSFERA	13
	2.2.2 LA CORONA SOLAR	13
	1.3 EL SISTEMA SOLAR	17
	1.3.1 EL PLANETA TIERRA	19
	1.3.1.1 MAGNETISMO EN LA TIERRA	19
	1.3.1.2 EL DÍA Y LA NOCHE	20
	1.3.1.3 LAS ESTACIONES CLIMATICAS	21
	1.4 RADIACIÓN QUE LLEGA A LA TIERRA	23
	1.4.1 COMPOSICIÓN DE LA LUZ SOLAR	24
	1.4.2 IRRADIACIÓN DIFUSA Y DIRECTA	25
	1.4.3 USOS DE ENERGÍA SOLAR	26
<b>CAPÍTULO</b>	<b>2 NUEVAS GENERACIONES DE ELECTRICIDAD</b>	<b>27</b>
	2.1. CONTAMINACIÓN A CAUSA DE ALGUNAS PLANTAS GENERADORAS	27
	2.2 PLANTAS GENERADORAS DE ELECTRICIDAD	28
	2.2.1 ENERGIA EÓLICA	28
	2.3 BIOMASA	29
	2.4 PANELES FOTOVOLTAICOS	31
	2.4.1 TIPOS DE PANELES SOLARES EN FUNCIÓN DE SUS MATERIALES	32
	2.4.2 TIPO DE PANELES EN FUNCIÓN DE SU FORMA	35
	2.5 NUEVAS TECNOLOGIAS	37
	2.6 SOPORTES	38
	2.6.1 DISPOSITIVOS SIN MOTOR	38
	2.6.2 OTROS ELEMENTOS ASOCIADOS A LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	39
	2.6.3 ESTANTES O GABINETES PARA BATERÍAS	40
	2.6.4 BASTIDOR DE ALUMINIO	40
	2.7 EFECTO FOTOVOLTAICO	41
	2.8 DISEÑO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA	42

	2.8.1 FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	43
	2.8.2 PRUEBAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	44
	2.8.3 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS DE ALTA EFICIENCIA	45
	2.8.4 TEXTURADO SUPERFICIAL Y PERDIDAS	47
	2.8.5 PARÁMETROS DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA DE SILISIO	48
	2.9 APLICACIONES	49
	2.9.1 PARQUES FOTOVOLTAICOS	49
	2.9.2 PARABUS	50
<b>CAPÍTULO</b>	<b>3 PROYECTO ENERGÉTICO</b>	<b>51</b>
	3.1 ANTECEDENTES	51
	3.2 LUGAR DEL PROYECTO ENERGÉTICO	55
	3.3 IRRADIACIÓN SOLAR.	56
	3.3.1 HORAS PICO SOLAR (HPS) h	57
	3.4 DISEÑO ELÉCTRICO	59
	3.4.1 INSTALACIONES DEL SERVICIO	60
	3.4.2 CONSUMO ELÉCTRICO	61
	3.4.3 CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO REAL	63
	3.5 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE FOTOCELDA	66
	3.6 NÚMERO DE PANELES	68
	3.6.1 BASTIDOR DE ALUMINIO	70
	3.7 BANCO DE BATERÍAS.	70
	3.7.1 NÚMERO DE BATERÍAS REQUERIDO	71
	3.8 REGULADOR DE CARGA	73
	3.9 INVERSOR	75
	3.10 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	77
Conclusiones		79
Anexo		82
Bibliografía		85
Mesografía		86

Con el agotamiento de combustibles fósiles como el petróleo, la utilización de fuentes alternas de energía, entre ellas la solar fotovoltaica y la geotérmica, se ha vuelto un asunto impostergable. Aunque son aplicadas en el país, se necesita impulsarlas. 73 por ciento de la contaminación en México se deriva de los combustibles fósiles, mientras las opciones solares siguen sin aprovecharse como debiera.

### Desventajas:

Sobre las desventajas, figuran la dependencia del recurso solar, ya que en días con nubosidad la obtención de la energía es escasa y en la noche nula. El desconocimiento de la tecnología es un punto muy importante a tratar ya que la gente tiene muy poco conocimiento de la forma de transformación de energía solar a eléctrica, por lo que se necesita capacitación. Desde el punto de vista económico, la inversión inicial es alta. En el aspecto tecnológico, la generación es intermitente. Se requiere almacenamiento, aunque esto no es un inconveniente en el medio urbano para los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.

### Ventajas:

En el primer caso no consume combustibles fósiles, por lo que no produce emisiones contaminantes a la atmósfera y no es parte de calentamiento global. La generación es directa; no hay procesos intermedios por lo que es más rápida su obtención en la transformación del energético. No existe ningún tipo de emisiones, ruidos, ni contaminantes de cualquier índole; el mantenimiento es prácticamente nulo y los fabricantes garantizan los módulos por 20 años. El coste del proyecto se puede pagar por sí mismo después de unos cuantos años y puede favorecer la economía si se conecta de una forma paralela con la red del suministrador.

El origen de este proyecto se basa principalmente en una problemática familiar en la región de Puebla. El problema, se planteó hace algunos años al visitar un poblado cercano al lugar del proyecto. La situación consiste en lo siguiente: se requiere una casa habitación en el cual existan todos los servicios necesarios para que una pequeña familia, habite sin ninguna necesidad para el cuidado intensivo de una hectárea de café y más materia prima. Ya que el cultivo de café requiere de mucho cuidado y de que se tenga una vigilancia absoluta se requiere que el dueño fije más atención en el crecimiento y cuidado de dicho grano. El suministro de agua se obtendrá por medio de la excavación de un pozo de 4 metros de profundidad. El suministro de gas se obtendrá por medio de tanques cilíndricos de 50 kg, los cuales, tendrán un tiempo de consumo de 60 días aproximadamente, se abastecerán prontamente teniendo uno igual de repuesto para estar listo para reemplazar.

El sistema de drenaje será extendido por medio de drenaje ecológico por medio de re conexión de heces y orina en embaces e instalación apropiada. El sistema de electricidad es la mayor problemática en la localidad, ya que el número de habitantes es nulo, existe un sistema de montañas alrededor de la localidad la cual afecta el suministro por parte de la compañía suministradora que surte de energía eléctrica a la república mexicana, Comisión Federal de Electricidad. Esta compañía suministradora posee un marco legal lo bastante amplio y apropiado el cual explica diferentes aspectos en los cuales no puede suministrar de dicha energía en zonas poco habitadas y con obstáculos geológicos en las cuales deba de brindar de dicho energético. Es necesario transformar energías para llegar a la solución de la problemática que se presentó anteriormente. La más apropiada que se a optado es la energía solar. La energía solar es limpia y en dado caso de aprovecharse se descartara un porcentaje de energía desperdiciada en el entorno mundial.

Se planteó con el dueño de dicha hectárea de café la posible solución, la única pregunta que se elaboró por parte del usuario fue: ¿Que costo tiene dicha instalación?

De aquí parte la presente tesis que es expuesta para la posible solución de dicho problema; en la cual, se llega a la conclusión más apropiada que pueda tener para su economía y entorno ecológico. De igual forma para la correcta orientación en la elección de la transformación de este servicio tan importante que es la energía eléctrica, ya que los demás modos de transformación de la energía requieren otras características en el ecosistema, terreno y economía.

Se iniciará con la comprensión de la estrella solar, su composición y entorno. Los diferentes modos de producción de energía eléctrica en México son un asunto muy importante en la presente al igual con nuevas tecnologías de generación ya que estas son de gran importancia. Los dispositivos de energía fotovoltaica que forman el sistema para la obtención de la energía es la base de la presente tesis ya que se elegirá de una gama extensa de alternativas y tecnologías para la transformación de la energía al igual que su almacenamiento. Los diferentes pasos, pruebas para la fabricación de paneles y como es que se origina esta energía. Finalmente el procedimiento para el cálculo de las celdas, regulador, batería e inversor del sistema para que finalmente se compare con una facturación del suministrador de energía eléctrica en México ya que en algún momento; este, le suministrara de dicho energético.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE CELDAS  
FOTOVOLTAICAS PARA EL MEDIO RURAL

CAPÍTULO 1

---

*LA ENERGÍA SOLAR*

## 1.1 LA VÍA LÁCTEA

La Vía Láctea es un agrupamiento de estrellas con forma de disco, que incluye al Sol y a su sistema solar. Para un observador terrestre, el disco de la Galaxia aparece como una banda débilmente luminosa que se puede observar de noche extendiéndose a través del cielo, ver figura 1.1. La apariencia difusa de esta banda es el resultado de la luz combinada de estrellas demasiado lejanas. Para poder distinguirlas por separado a simple vista. Las



estrellas individuales que vemos en el cielo son aquellas de la Galaxia que están lo suficientemente cerca del sistema solar para distinguirlas por separado

Figura 1.1 Derecha, la vía Láctea

La Vía Láctea se extiende a través de las constelaciones Perseo, Casiopea y Cefeo. En la región de la Cruz del Norte, que forma parte de Cisne, se divide en dos corrientes: la corriente occidental que brilla cuando



atraviesa la Cruz del Norte, palidece cerca de Ofiuco, a causa de las nubes de polvo, y aparece de nuevo en Escorpio; y la corriente oriental, que es más brillante cuando pasa por el sur a través del Escudo y Sagitario figura 1.3. La parte más brillante de la Vía Láctea se extiende desde la constelación del Escudo a Escorpio, a través de Sagitario, ver figura 1.2

Figura 1.2 Localización de la vía láctea

Las diferentes regiones de la Vía Láctea no se parecen unas de otras, tanto en sus movimientos como en las características de las estrellas que aparecían en ellas. De este modo se introdujo el concepto de poblaciones estelares, una idea que permitió separar los objetos según sus edades, la abundancia de los elementos químicos presentes, y también por su ubicación y distribución en relación con la Vía Láctea.



Figura 1.3 Visión del Sistema Solar y la Constelación Sagitario

Se ha descubierto que la Vía Láctea es una gran galaxia espiral, con varios brazos espirales que se enroscan alrededor de un núcleo central de un grosor de unos 10,000 años luz. Las estrellas del núcleo central están más agrupadas que las de los brazos, donde se han encontrado más nubes interestelares de polvo y gas. El diámetro del disco es de unos 100,000 años luz. Está rodeado por una nube de hidrógeno, deformada y festoneada en sus extremos, rodeada a su vez por un halo esférico y ligeramente aplastado que contiene muchos cúmulos globulares de estrellas, que se encuentran principalmente encima o debajo del disco.

La Vía Láctea gira alrededor de un eje que une los polos galácticos. Contemplada desde el polo norte galáctico, la rotación de la Vía Láctea se produce en el sentido de las agujas del reloj, arrastrando los brazos espirales. El periodo de rotación aumenta cuando disminuye la distancia desde el centro del sistema galáctico. En las proximidades del sistema solar, el periodo de rotación es de algo más de 200 millones de años luz. La velocidad del sistema solar debido a la rotación galáctica es de unos 270 kilómetros por segundo.

## 1.2 LA ESTRELLA SOLAR

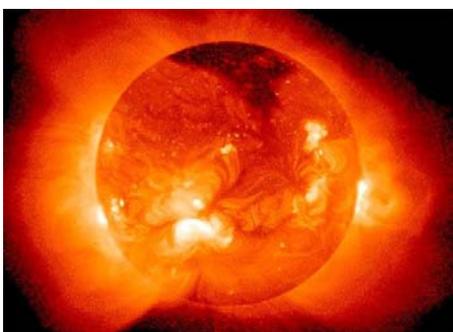


Figura 1.4 El Sol

El Sol, ver figura 1.4 se formó hace 4,650 millones de años y tiene combustible para 5,000 millones más. Se concretó a partir de nubes de gas y polvo que contenían residuos de generaciones anteriores de estrellas. Gracias a la metalicidad de dicho gas, de su disco surgieron más tarde los planetas, asteroides y cometas del Sistema Solar. Es una estrella del tipo espectral que se encuentra en el centro del Sistema Solar.

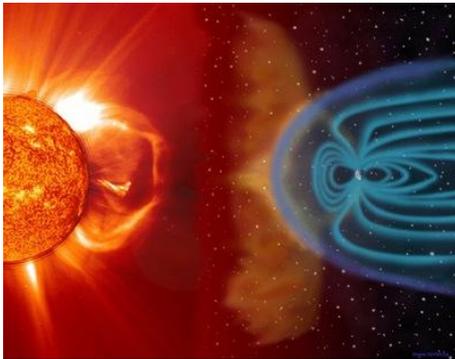


Figura 1.5 Energía electromagnética provocada por el Sol

La Tierra y otras materias (incluyendo a otros planetas, asteroides, meteoritos, cometas y polvo) orbitan alrededor de ella, constituyendo a la mayor fuente de energía electromagnética de esta constelación, ver figura 1.5. Por sí solo, el Sol representa alrededor del 98.6% de la masa del Sistema Solar. La distancia media del Sol a la Tierra es de aproximadamente 149,600,000 de kilómetros, o 92,960,000 millas, y su luz recorre esta distancia en 8 minutos y 19 segundos.

La energía del Sol, en forma de luz solar, sustenta a casi todas las formas de vida en la Tierra a través de la fotosíntesis, y conduce el clima de la Tierra y la meteorología. Después, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar un trillón de años en enfriarse.

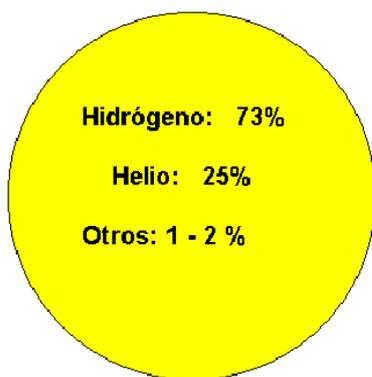


Figura1.6 Composición del sol

En el interior del Sol se producen reacciones de fusión en las que los átomos de hidrógeno se transforman en helio, produciéndose la energía que irradia. Ver figura 1.6. Actualmente, el Sol se encuentra en plena secuencia principal. Es la estrella del sistema planetario en el que se encuentra la Tierra; por tanto, es la más cercana a la Tierra y el astro con mayor brillo aparente. Su visualidad en el cielo local determina, respectivamente, el día y la noche en diferentes regiones de diferentes planetas.



**Figura 1.7 las plantas aprovechan la energía solar para la fotosíntesis**

En la tierra, la energía radiada por el Sol es aprovechada por los seres fotosintéticos; ver figura 1.7, que constituyen la base de la cadena trófica, siendo así la principal fuente de energía de la vida. También aporta la energía que mantiene en funcionamiento los procesos climáticos. El Sol es una estrella que se encuentra en la fase denominada secuencia principal, con un tipo espectral (estelar).

El Sol, junto con la Tierra y todos los cuerpos celestes que orbitan a su alrededor, forman el Sistema Solar.

A pesar de ser una estrella mediana es más brillante que el 85% de las estrellas existentes en nuestra galaxia, es la única cuya forma se puede apreciar a simple vista, con un diámetro angular de 32' 35" de arco en el perihelio y 31' 31" en el afelio, lo que da un diámetro medio de 32' 03". La combinación de tamaños y distancias del Sol y la Luna son tales que se ven, aproximadamente, con el mismo tamaño aparente en el cielo. Esto permite una amplia gama de eclipses solares distintos totales, anulares o parciales.

Llegará un día en que el Sol agote todo el hidrógeno en la región central al haberlo transformado en helio. La presión será incapaz de sostener las capas superiores y la región central tenderá a contraerse gravitacionalmente, calentando progresivamente las capas adyacentes. El exceso de energía producida hará que las capas exteriores del Sol tiendan a expandirse y enfriarse y el Sol se convertirá en una estrella gigante roja. El diámetro puede llegar a alcanzar y sobrepasar al de la órbita de la Tierra, con lo cual, cualquier forma de vida se habrá extinguido.

Cuando la temperatura de la región central alcance aproximadamente 100 millones de grados kelvin ( $K^\circ$ ), comenzará a producirse la fusión del helio en carbono mientras alrededor del núcleo se sigue fusionando hidrógeno en helio. Ello producirá que la estrella se contraiga y disminuya su brillo a la vez que aumenta su temperatura, convirtiéndose el Sol en una estrella de la rama horizontal.

Al agotarse el helio del núcleo, se iniciará una nueva expansión del Sol y el helio empezará también a fusionarse en una nueva capa alrededor del núcleo inerte compuesto de carbono y oxígeno y que por no tener masa suficiente el Sol no alcanzará las presiones y temperaturas suficientes para fusionar dichos elementos

en elementos más pesados que lo convertirá de nuevo en una gigante roja, pero ésta vez de la rama asintótica gigante y provocará que el astro expulse gran parte de su masa en la forma de una nebulosa planetaria, quedando únicamente el núcleo solar que se transformará en una enana blanca y, mucho más tarde, al enfriarse totalmente, en una enana negra. El Sol no llegará a estallar como una supernova al no tener la masa suficiente para ello.

Si bien se creía en un principio que el Sol acabaría por absorber además de Mercurio y Venus a la Tierra al convertirse en gigante roja, la gran pérdida de masa que sufrirá en el proceso hizo pensar por un tiempo que la órbita terrestre al igual que la de los demás planetas del Sistema Solar se expandiría posiblemente

Las interacciones mareales así como el roce con la materia de la cromósfera solar harán que nuestro planeta sea absorbido.

Como toda estrella el Sol posee una forma esférica, y a causa de su lento movimiento de rotación, tiene también un leve achatamiento polar. Como en cualquier cuerpo masivo toda la materia que lo constituye es atraída hacia el centro del objeto por su propia fuerza gravitatoria.

Sin embargo, el plasma que forma el Sol se encuentra en equilibrio ya que la creciente presión en el interior solar compensa la atracción gravitatoria produciéndose un equilibrio hidrostático. Estas enormes presiones se generan debido a la densidad del material en su núcleo y a las enormes temperaturas que se dan en él gracias a las reacciones termonucleares que allí acontecen.

Existe además de la contribución puramente térmica una de origen fotónico. Se trata de la presión de radiación, nada despreciable, que es causada por el ingente flujo de fotones emitidos en el centro del Sol.

El Sol presenta una estructura en capas esféricas o en "capas de cebolla". La frontera física y las diferencias químicas entre las distintas capas son difíciles de establecer. Sin embargo, se puede establecer una función física que es diferente para cada una de las capas.

En la actualidad, la astrofísica dispone de un modelo de estructura solar que explica satisfactoriamente la mayoría de los fenómenos observados. Según este modelo, el Sol está formado conforme la figura 1.8:

- 1) Núcleo
- 2) Zona radiante
- 3) Zona convectiva
- 4) Fotósfera
- 5) Cromosfera
- 6) Corona

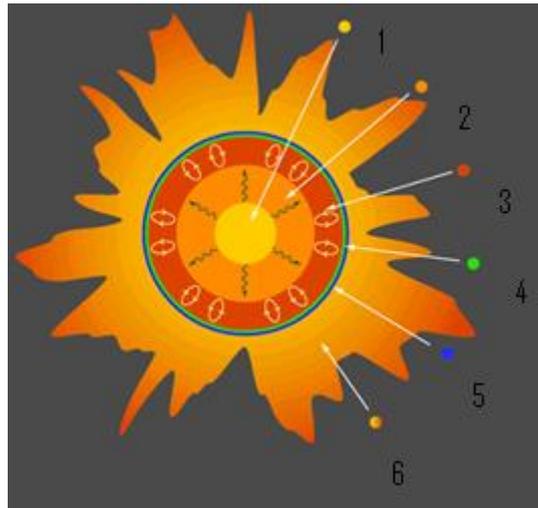
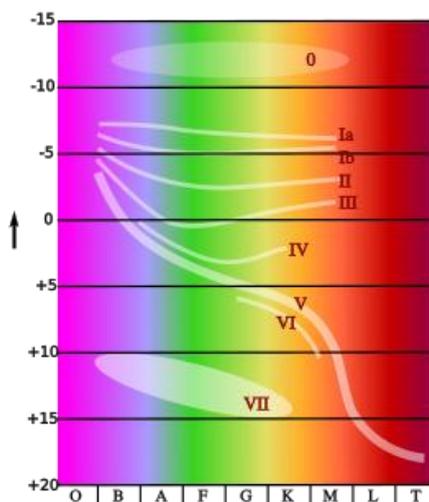


Figura 1.8 Interior del Sol y sus diferentes capas

### 1.2.1 EL NÚCLEO SOLAR



La estrella más cercana a la Tierra, el Sol, es una inmensa esfera de gas en estado estacionario. En un diagrama color-magnitud (diagrama HR, llamado así por Herzprung-Russell) que se muestra en la figura 1.9 estaría situada en la llamada Secuencia Principal como también lo están el 80% de las estrellas que pueblan nuestra galaxia; esto nos lleva a decir que se trata de una estrella en plena juventud

(Figura 1.9) Abscisas: Tipo espectral/ Ordenadas: Magnitud absoluta  
 0, Ia, Ib Supergigantes. II Gigantes luminosas. III Gigantes. IV Subgigantes. V Secuencia principal. VI Subenanas. VII Enanas blancas.

Todo lo que sabemos de ellas, y del Sol, lo conocemos a través del estudio de la radiación electromagnética que llega procedente de su superficie. Ésta, con una masa aproximada menor que un 0.01 % de la masa total del Sol, es una capa cuyo espesor es menor que el uno por mil de su radio, que además es opaca a la radiación producida en el núcleo solar y transportada hasta allí por procesos como radiación y convección, fundamentalmente.

El núcleo del Sol es una poderosa central nuclear de fusión capaz de proporcionar  $3.9 \times 10^{20}$  Mw (Megawatts). Utiliza como combustible el hidrógeno, (H), y lo transforma en helio, (He). En las altas condiciones de presión y temperatura que reinan en el interior solar, el plasma se encuentra totalmente ionizado ya que los núcleos atómicos están desprovistos de electrones, y de esta manera cuatro núcleos de H (protones) se fusionan para producir uno de He (partícula  $\alpha$ ), Esta energía se produce en un 98% en forma de radiación electromagnética altamente energética (rayos  $\gamma$ ) y, en el 2% restante, en forma de neutrinos electrónicos.

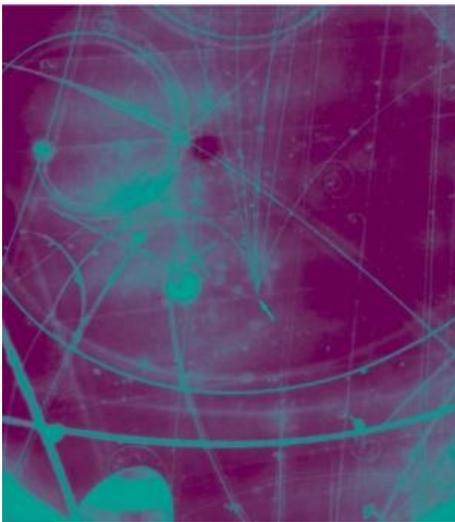
La cadena de reacciones producidas dan lugar a diferentes tipos de neutrinos y en diferente cantidad. Los neutrinos se producen principalmente en la reacción PP pero tienen una energía muy pequeña, inferior a 0.4 MeV (megaelectronvoltios. Un MeV corresponde a fotones gamma de longitudes de onda inferiores a  $10^{-11}$  m (metros) o frecuencias superiores a  $10^{19}$ Hz. (Hertz) otros, en menor cantidad, por la captura electrónica del Berilio, (Be), con energías entre 0.38 y 0.86 MeV y, por último, en la desintegración  $\beta$  del Boro, (B),



Figura 1.10 El fotón

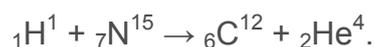
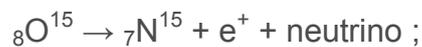
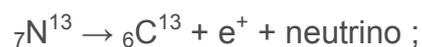
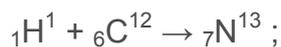
A diferencia de los fotones figura 1.10, los neutrinos, figura 1.11 atraviesan el Sol en un par de segundos y llegan a la Tierra (en unos 8 minutos), donde el flujo total recibido es de alrededor de  $6.5 \times 10^{10}$  por  $\text{cm}^2$  (centímetros cuadrados) cada segundo; de ellos los más energéticos sólo representan unos 60 millones.

La energía que se produce, en forma de fotones, se absorbe y reemite en el plasma circundante, de manera que el fotón producido va perdiendo energía a medida que avanza hacia la superficie que tarda varios millones de años en llegar allí, es lo que se conoce como opacidad estelar.



**Figura 1.11** En el centro  
el neutrino

Llega un momento que la opacidad es tan grande que la energía debe transportarse por medio del movimiento macroscópico, originándose entonces corrientes de convección. Esto sucede en las capas externas del Sol (alrededor de un 30% del radio solar de espesor). Por encima de la zona de convección está lo que podríamos llamar la superficie solar en la que se distinguen la fotosfera, la cromósfera y la corona. La densidad es baja y la temperatura alta, con lo que el plasma está fuertemente ionizado; además, ahí se observan campos magnéticos intensos que en su interacción con el plasma dan lugar a estructuras complejas (manchas, filamentos, plumas, filigranas, etc.)



Sumando todas las reacciones y cancelando los términos comunes, se tiene:



### **1.2.1.1 ZONA CONVECTIVA Y ZONA RADIANTE**

La zona convectiva se ubica sobre el núcleo, la zona radiante sobre la convectiva. Ambas zonas cumplen la función, mediante mecanismos distintos, de hacer fluir la energía desde el interior del Sol a las diversas capas exteriores.

Esta región se extiende por encima de la zona radiativa y los fotones son absorbidos con facilidad volviéndose el material opaco al transporte de radiación. Por lo tanto, el transporte de energía se realiza por convección, de modo que el calor se transporta de manera no homogénea y turbulenta por el propio fluido.

Los fluidos se dilatan al ser calentados y disminuyen su densidad. Por lo tanto, se forman corrientes ascendentes de material desde la zona caliente hasta la zona superior, y simultáneamente se producen movimientos descendentes de material desde las zonas exteriores frías.

Así a unos 200,000 km (kilómetros) bajo la fotosfera del Sol, el gas se vuelve opaco por efecto de la disminución de la temperatura; en consecuencia, absorbe los fotones procedentes de las zonas inferiores y se calienta a expensas de su energía. Se forman así secciones convectivas turbulentas, en las que las *parcelas* de gas caliente y ligero suben hasta la fotosfera, donde nuevamente la atmósfera solar se vuelve transparente a la radiación y el gas caliente cede su energía en forma de luz visible, enfriándose antes de volver a descender a las profundidades.

### **1.2.1.2 LA FOTÓSFERA**

La fotosfera es la superficie luminosa que delimita el Sol, o mejor dicho la de la estrella de la que proviene la luz que vemos. Clásicamente se habla de la fotosfera del Sol y de las estrellas. En el caso del Sol la temperatura fotosférica es alrededor de 5,627 °C. No es sólida, sino que es una capa de plasma de aproximadamente 300 km de espesor, que emite la luz y el calor que recibimos. En el caso de otras estrellas la temperatura fotosférica o superficial es mayor o menor y por tanto la luz emitida es, en promedio de otro color. Las estrellas más frías son rojas y las estrellas más calientes son azules.

La fotosfera consiste en una capa de gases: O (oxígeno)- 774, C (carbono) - 330, Ne (neón) - 112, N(nitrógeno) - 102 Fe (hierro) - 43, Mg (magnesio)- 35, Si (silicio)- 32,

S (azufre)– 15 en ppm (partes por millón) que se hallan bajo fuertes presiones. Vista con telescopios, presenta una fina granulación (fóculos) y bordes netos.

De ella emana la radiación que emite la estrella. Su superficie consiste un fondo luminoso sobre el cual aparecen fáculas que, por hallarse a mayor temperatura, son aún más brillantes. Inversamente, se forman en unos huecos o depresiones profundas, las manchas solares, por las cuales se ve la capa inferior, menos caliente, y por consiguiente, es más oscura en apariencia. Aunque el borde o limbo del Sol aparece bastante nítido en una fotografía o en la imagen solar proyectada con un telescopio, se aprecia fácilmente que el brillo del disco solar disminuye hacia el borde. Este fenómeno de oscurecimiento del centro al limbo es consecuencia de que el Sol es un cuerpo gaseoso con una temperatura que disminuye con la distancia al centro.

La luz que se ve en el centro procede en la mayor parte de las capas inferiores de la fotosfera, más caliente y por tanto más luminosa. Al mirar hacia el limbo, la dirección visual del observador es casi tangente al borde del disco solar por lo que llega radiación procedente sobre todo de las capas superiores de la fotosfera, más frías y emitiendo con menor intensidad que las capas profundas de su base.

Un fotón tarda en promedio de 10 días desde que surge de la fusión de dos átomos de hidrógeno, en atravesar la zona radiante y un mes en recorrer los 200,000 km de la zona conectiva, empleando tan sólo unos 8 minutos y medio en cruzar la distancia que separa la Tierra del Sol. No se trata de que los fotones viajen más rápidamente ahora, sino que en el exterior del Sol el camino de los fotones no se ve obstaculizado por los continuos cambios, choques, quiebros y turbulencias que experimentaban en el interior del Sol.

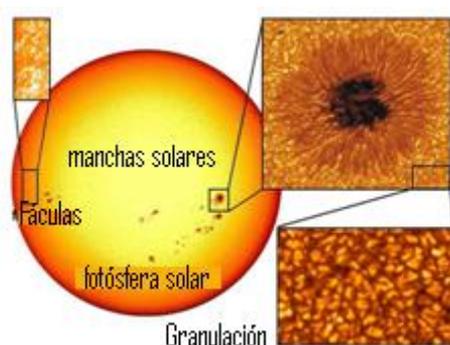


Figura 1.12 Granulación y manchas solares

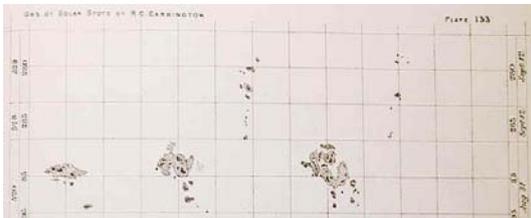
Los gránulos brillantes de la fotosfera (Figura

1.12) están separados por finas líneas oscuras. Los gránulos son la evidencia del movimiento convectivo y burbujeante de los gases calientes en la parte exterior del Sol. En efecto, la fotosfera es una masa en continua ebullición en el que las células convectivas se aprecian como gránulos

El signo más evidente de actividad en la fotosfera son las manchas solares.

El diámetro medio de los gránulos individuales es de unos 700 a 1,000 km y resultan particularmente notorios en los períodos de mínima actividad solar. Hay también movimientos turbulentos a una escala mayor, la llamada "supergranulación", con diámetros típicos de unos 35,000 km. Cada supergranulación contiene cientos de gránulos individuales y sobrevive de 12 a 20 horas.

Fue Richard Christopher Carrington (1826-1875), cervecero y astrónomo aficionado,



**Figura 1.13 Primeras observaciones de Carrington**

el primero en observar la granulación fotosférica Ver figura 1.13 en el siglo XIX. En 1896, el francés Pierre Jules César Janssen (1824-1907) consiguió fotografiar por primera vez la granulación fotosférica.

El signo más evidente de actividad en la fotosfera son las manchas solares. En los tiempos antiguos se consideraba al Sol como un fuego divino y, por consiguiente, perfecto e infalible. Del mismo modo se sabía que la brillante cara del Sol estaba a veces nublada con unas manchas oscuras, pero se imaginaba que era debido a objetos que pasaban en el espacio entre el Sol y la Tierra.

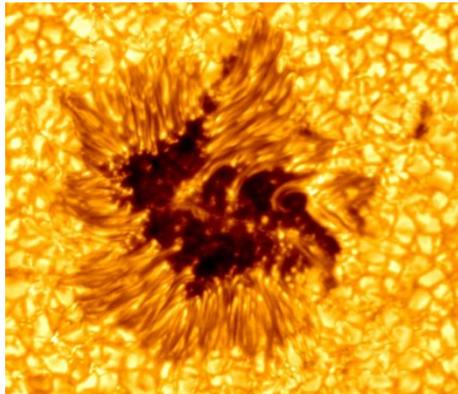


**Figura 1.14 Galileo Galilei**

Cuando Galileo Galilei (1564-1642 ver la figura 1.14) construyó el primer telescopio astronómico, dando origen a una nueva etapa en el estudio del Universo; hizo, la siguiente afirmación "Repetidas observaciones me han convencido, de que estas manchas son sustancias en la superficie del Sol, en la que se producen continuamente y en la que también se disuelven, unas más pronto y otras más tarde".

Una mancha solar típica consiste en una región central oscura, llamada "umbra", rodeada por una

"penumbra" más clara. Una sola mancha puede llegar a medir hasta 12,000 km (casi tan grande como el diámetro de la Tierra), pero un grupo de manchas puede alcanzar 120,000 km de extensión e incluso algunas veces más.



**Figura 1.15** En el centro, las partes más oscuras forman la umbra. De los bordes de la umbra salen filamentos alargados, esta región es llamada penumbra. Umbra y penumbra forman una mancha solar

La penumbra está constituida por una estructura de filamentos claros y oscuros que se extienden radialmente desde la umbra. Ambas, umbra y penumbra, figura 1.15 parecen oscuras por contraste con la fotosfera, simplemente porque están más frías que la temperatura media de la fotosfera. Así, la umbra tiene una temperatura de 3,727 °C, mientras que la penumbra alcanza los 5327 °C, inferiores en ambos casos a los 5727 °C que tienen los gránulos de la fotosfera. Por la ley de stefan-boltzmann en que la energía total radiada por un cuerpo negro (como una estrella) es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura efectiva, es decir:

$$E = \sigma T^4$$

Dónde: E=energía total radiada por un cuerpo negro

T=temperatura efectiva

$$\sigma = \frac{5.67051 \times 10^{-8} \text{ W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

La umbra emite aproximadamente un 32% de la luz generada por un área igual de la fotosfera y análogamente la penumbra tiene un brillo de un 71%

### 1.2.1.3 LA CROMÓSFERA

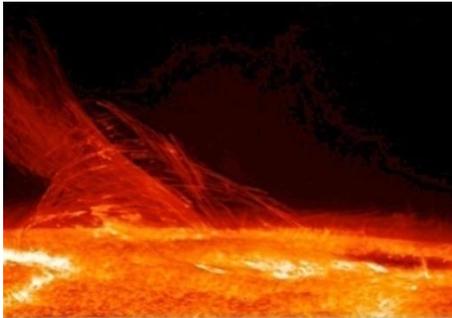


Figura 1.16 La cromósfera

Es una capa de aproximadamente 16,000 km, que se extiende por encima de la superficie visible del Sol, está limitada superiormente por la corona figura 1.16. No se puede ver en condiciones normales a causa de la débil luz que emite y sólo se evidencia durante los eclipses de Sol, o bien con un instrumento apropiado llamado coronógrafo. Las temperaturas de la cromósfera varían.

Aproximadamente desde 6,000°C, en el punto en que limita con la subyacente fotosfera, a más de 1, 000,000 °C en las capas superiores lindantes con la corona.

La cromosfera no es una capa homogénea, sino que revela una estructura hispida, una selva de lenguas de luces similares a llamas (las llamadas espículas); su nombre se debe a la luz rosada y roja emitida por los átomos de hidrógeno que la componen.

### 1.2.2 LA CORONA SOLAR



(Figura 1.17) Eclipse solar mostrando la corona solar

La corona solar es la parte externa de la atmósfera, que se extiende más de 1, 000,000. km se adentra en el espacio interplanetario y puede observarse en eclipses totales de Sol cuando la Luna tapa el disco solar, figura 1.17. Hoy en día sabemos que es extremadamente tenue, ya que su densidad es un billón de veces inferior al de la atmósfera de la Tierra a una altura de 90 km y solamente comparable al mejor vacío que se puede conseguir hoy en día. No obstante, es extremadamente caliente, ya que su temperatura es de unos

2, 000,000 °F.

Una prolongación, o la misma corona solar que está en constante expansión, la constituye el llamado "viento solar", que es un flujo continuo de plasma que al pasar por la Tierra tiene unos 400 km/s de velocidad y llega hasta los confines del Sistema Solar.

La luz visible que emite la corona solar es muy débil si la comparamos con la emitida por la fotosfera (su superficie) que es mil millones de veces más intensa. Así, es que la corona no puede observarse si no es ocultando perfectamente el disco solar, ya sea durante un eclipse (el disco lunar oculta el solar), o utilizando el coronógrafo (en el que un disco metálico oculta el de una imagen del Sol producida por un telescopio) como el de LASCO o UVCS (experimentos a bordo del satélite SOHO). Es tan débil, debido a la pequeña cantidad de partículas (electrones e iones) que difunden la luz procedente de la fotosfera, lo que da una idea de la pequeña densidad del material en esta zona. Podría decirse que la corona es una especie de neblina muy tenue situada por encima de la superficie.

La primera evidencia científica de su existencia se produjo durante el eclipse de 1870, en el que Charles Young observó una raya (de color verde) en el espectro de la luz coronal; décadas más tarde se descubrieron otras (roja y amarilla) que no se correspondían con las producidas por ningún otro elemento conocido en la Tierra. A comienzos del siglo XX, los astrónomos estaban tan perplejos que llegaron a proponer la existencia de un elemento químico nuevo presente en el Sol, y no en la Tierra, al que se llamó "coronio".

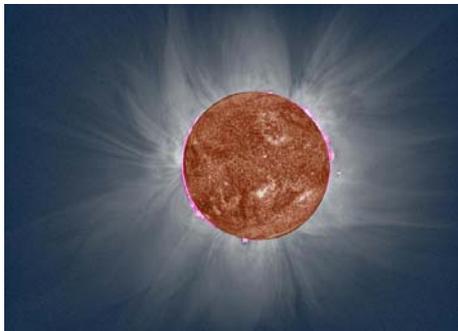
No obstante, el auge de la espectroscopia hacia 1940, propició trabajos como los de Edlen y de Grotrian, que demostraron que estas rayas espectrales eran producidas por átomos altamente ionizados de elementos conocidos como el hierro (9 y 13 veces ionizado) y el calcio (14 veces).

Estas condiciones de ionización se dan solamente si la temperatura del medio es muy alta, por ejemplo unos dos millones de grados, cuando el átomo de hierro ha perdido 13 de sus 26 electrones. Por tanto, la presencia de estas rayas espectrales delataba, tras una correcta interpretación, la existencia de plasma a muy altas temperaturas en la corona solar. No obstante, el plasma de la corona solar emite radiación en diferentes longitudes de onda, de forma que observarla en el visible es la peor elección posible. De hecho, la corona emite más radiación en longitudes de onda muy cortas, como las de la luz en el ultravioleta extremo (UVE) y los rayos X.

Esta radiación que, afortunadamente para los seres vivos terrestres, es eficientemente filtrada en nuestra atmósfera por la capa de ozono, también hace que, desgraciadamente, no podamos observar la corona solar ni desde las montañas más altas del planeta.

No fue hasta 1946, en el que puede considerarse el comienzo de la investigación espacial, que en un vuelo de un cohete tipo V2 (capturado a los alemanes en la Segunda Guerra Mundial) lanzado desde White Sands (Nuevo México, Estados Unidos de América) a sólo 90 km de altura, se obtuvo la primera imagen del Sol en UVE; dos décadas después, podía observarse la corona algo mejor con vuelos suborbitales y de corta duración.

Pero no fue hasta el lanzamiento del Skylab, en 1973, con astronautas-astrónomos como tripulación e instrumentación más sofisticada (también en rayos X) a bordo, cuando la observación de la corona mejoró ostensiblemente.



Modernamente, el EIT (Telescopio ultravioleta extremo de la proyección de imagen), a bordo del satélite SOHO (Observatorio Solar y Heliosférico), ha obtenido imágenes de gran nitidez en diferentes filtros en el UVE ver figura 1.18.

**Figura 1.18 Imagen compuesta del Sol, por el SOHO y su instrumento EIT en Ultravioleta**

en la actualidad tras los experimentos a bordo de SOHO nos hemos dado cuenta de las diferentes temperaturas que existen en el astro Rey . Hay ya evidencias certeras de que el calentamiento se produce por la energía que transportan ondas de tipo acústico y otras asociadas al campo magnético, producidas en las capas situadas más abajo, cercanas a la superficie del sol



El movimiento de los componentes en la corona está determinado fundamentalmente por el campo magnético producido en el interior solar, que aparece allí en formas de bellos arcos en los que quedan atrapadas las partículas. Donde quiera que el campo magnético no existe o queda en configuración libre (por ejemplo, en los agujeros coronales) su densidad es menor y por allí escapa el plasma hacia el medio interplanetario en el viento solar.

La existencia del viento solar, que ya había predicho Biermann en 1951, al estudiar la forma de las colas de algunos cometas, siempre opuesta a la dirección donde se hallaba el Sol, fue explicada y predicha correctamente por Parker, en 1958. Predijo, por medio de un modelo teórico, que la corona no podía ser estática y debía necesariamente estar en expansión.

Sus predicciones fueron confirmadas con el satélite Mariner 2, en su vuelo a Venus en 1962, que midió un flujo de partículas procedentes del Sol con una velocidad entre 300 y 700 km/s a su paso por el entorno de la Tierra.

También midió una densidad de partículas de unos 5 millones por metro cúbico, menos de una diez millonésima parte de la que hay en la corona. Así pues, el Sol no sólo envía luz, sino que también envía materia. Este plasma normalmente no penetra la atmósfera terrestre porque la Tierra es un gigantesco imán; es decir, tiene un campo magnético que, a modo de cascarón, la protege desviando este flujo. Solamente partículas con mucha mayor energía pueden penetrar este caparazón magnético, entrar en la atmósfera y llegar hasta la superficie.

### 1.3 EL SISTEMA SOLAR



El Sistema Solar figura 1.21 es un conjunto o sistema de planetas que orbitan alrededor de una estrella común (el Sol) la que a su vez orbita de manera casi circular alrededor del centro de la galaxia. El 98.6% de la masa del sistema solar está contenida en el Sol y la mayor parte del resto en Júpiter.

Figura 1.21 El sistema solar

Nuestro sistema solar se formó hace 4,500 millones de años. No se sabe cómo fue el origen del Sistema Solar, pero existen teorías que son posibles candidatas para justificar la creación de dicho sistema.

Existen dos tipos diferentes planetas:

**Planetas Interiores:** Los planetas Mercurio, Venus, la Tierra y Marte son sólidos y rocosos como la Tierra.

**Planetas Exteriores:** Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno son casi totalmente gaseosos. Desde agosto del 2006 Plutón ya no es considerado un planeta.

La nueva definición de planeta (Unión Astronómica Internacional 2006) dice que un planeta es un cuerpo celeste en órbita a una estrella, y que debe tener suficiente masa para hacer que este tome una forma esférica y sea el cuerpo dominante en su órbita. Este último requisito quiere decir que cualquier cuerpo menor en la órbita de un planeta es expelido o absorbido por la gravedad del planeta dejando su órbita libre de objetos.

La única excepción ocurre con cuerpos menores que ocupan un punto estable de la órbita como lo es el caso de los asteroides "troyanos" en la órbita de Júpiter (estos asteroides han sincronizado su movimiento de tal forma que nunca entran en colisión con el planeta).

Existen diversas teorías acerca de la formación de nuestro Sistema Solar, una de ellas es la hipótesis nebular: Teoría originalmente propuesta por Kant y Laplace en el siglo XVIII.

La misma indica que el Sistema Solar se habría formado a partir de una nebulosa (nube inmensa de gases y polvo) que empezó a colapsar hacia sí misma debido a fuerzas gravitacionales propias las cuales superaron a las fuerzas de presión de los gases que tienden a hacer que la nebulosa se expanda. La nebulosa, en estado de contracción empezó a girar sobre su propio eje (de manera similar a un trompo). Debido a que la nebulosa sufría la acción de fuerzas gravitatorias, de presión de gases y de rotación empezó a achatarse.

### 1.3.1 EL PLANETA TIERRA

La Tierra figura 1.22 es el quinto planeta más grande. Eso hace que pueda retener una capa de gases por la atmósfera, que dispersa la luz y absorbe calor. De día evita que la Tierra se caliente demasiado y, de noche, que se enfríe.



Figura 1.22 Planeta tierra

Es el tercer planeta más cercano al sol con sólo Mercurio y Venus siendo los planetas más cercanos y está aproximadamente 24,920 millas alrededor de la línea ecuatorial.

Aunque las piedras más antiguas de la Tierra no tienen más de 4.000 millones de años, los meteoritos, que se corresponden geológicamente con el núcleo de la Tierra, dan fechas de unos 4.500 millones de años, y la cristalización del

núcleo, se cree que ocurrió al mismo tiempo, unos 150 millones de años después de formarse la Tierra y el Sistema Solar.

La Tierra tiene sólo una luna a diferencia de muchos otros planetas que tienen hasta 30 lunas. La tierra está hecha de varias capas y hace ya un tiempo todas estas capas fueron juntadas, haciendo posible el andar de un lado de la Tierra al otro. Las capas son pedazos individuales que siempre están en movimiento, así la tierra sigue apartándose despacio. Hoy hay siete masas continentales distintas conocidas como continentes.

#### 1.3.1.1 MAGNETISMO DE LA TIERRA

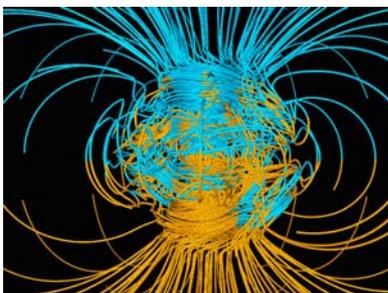
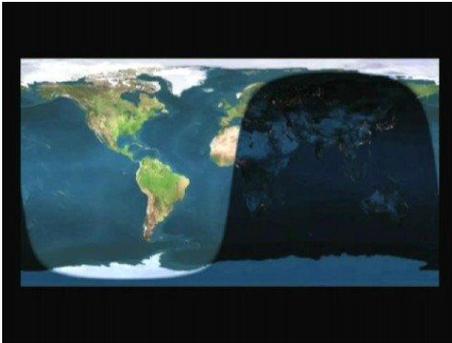


Figura 1.23 Magnetismo terrestre

El magnetismo terrestre figura 1.23 significa que la Tierra se comporta como un enorme imán. El físico inglés William Gilbert fue el primero que lo señaló, en el año 1,600, aunque los efectos del magnetismo terrestre se habían utilizado mucho antes en las brújulas primitivas.

La Tierra está rodeada por un potente campo magnético, como si el planeta tuviera un enorme imán en su interior cuyo polo sur estuviera cerca del polo norte geográfico y viceversa. Por paralelismo con los polos geográficos, los polos magnéticos terrestres reciben el nombre de polo norte magnético y polo sur magnético, aunque su magnetismo real sea opuesto al que indican sus nombres.

### 1.3.1.2 EL DÍA Y LA NOCHE



Día y noche figura 1.24 son creadas por la rotación del planeta Tierra. Cuando el Sol está en el cielo, la luz del Sol puede llegar, lo que hace durante el día. Cuando el Sol desaparece la luz del sol no puede brillar sobre nosotros, y tenemos la noche.

**Figura 1.24 El día y la noche del planeta tierra**

Gira sobre su eje, que es una línea imaginaria que pasa por el Norte y el Polo Sur. La Tierra gira en dirección Oeste-Este, en sentido directo (contrario al de las agujas del reloj), produciendo la impresión de que es el cielo el que gira alrededor de nuestro planeta.

La Tierra tarda un día entero (24 horas) para crear una vuelta completa. El día evita que la Tierra se caliente demasiado y, de noche, que se enfríe.

Nosotros decimos que el Sol sale por el este y se pone en occidente, porque eso es lo que parece estar ocurriendo. Ahora que nos encontramos en la Tierra girando, somos nosotros los que se están moviendo hacia el oriente que el Sol se mueva hacia el oeste.

### 1.3.1.3 LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS

Las estaciones son los periodos del año en los que las condiciones climáticas imperantes se mantienen en una determinada región dentro de un cierto rango. Estos periodos duran aproximadamente tres meses y se denominan primavera, verano, otoño e invierno aunque en las regiones de la tierra cercanas al ecuador las estaciones son sólo dos, la estación seca y la lluviosa ya que en ellas varía drásticamente el régimen de lluvias, pero no así la temperatura.

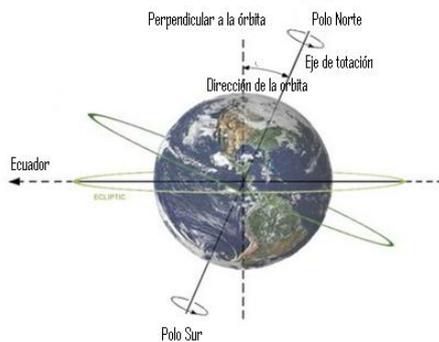


Figura 1.25 Oblicuidad de la tierra mostrando: órbita perpendicular, sentido de rotación, Polos norte, polo sur, ecuador, y dirección de órbita

Contrariamente a lo que piensa mucha gente, la sucesión de las estaciones no se debe a que en su movimiento elíptico la Tierra se aleje y acerque al Sol. Esto tiene un efecto prácticamente imperceptible en el clima. La causa es la oblicuidad de la inclinación del eje de giro del globo terrestre ver figura 1.25. Este eje se halla siempre orientado en la misma dirección (salvo el fenómeno de la precesión) y por tanto los hemisferios boreal y austral son desigualmente iluminados por el sol. Cada seis meses la situación se invierte.

Si el eje de la Tierra no estuviese inclinado respecto a la Eclíptica, el Sol se hallaría todo el año sobre el ecuador; culminaría todos los días del año a la misma altura sobre el horizonte, que sería igual a la misma latitud N y S, y tanto menor cuanto mayor fuese la latitud  $h=90-\text{latitud}$ , por lo cual no habría estaciones.

Las estaciones no tienen la misma duración ver tabla 1.1, ya que la Tierra recorre su trayectoria alrededor del Sol con una velocidad variable. Va más deprisa cuanto más cerca está del Sol y más lento cuanto más alejada está. Esto es una consecuencia de la ley de gravitación universal de Newton.

El rigor de las estaciones en cada hemisferio no depende de la distancia al Sol. Como el hemisferio Norte tiene más superficie sólida que el hemisferio Sur, cuando es verano en el Norte la superficie se calienta más rápido y reemite el calor a la atmósfera, generando temperaturas más elevadas.

En cambio, como el hemisferio Sur tiene una superficie cubierta mayormente por agua, en el verano del Sur el calor proveniente del Sol es absorbido por el agua de los océanos y es reemitido a la atmósfera más lentamente, por lo que la temperatura alcanzada no es tan alta como en los veranos del Norte.

Durante el invierno ocurre algo similar. Cuando el Sol calienta el hemisferio Norte en el Invierno, el calor es reemitido a la atmósfera muy rápido, por lo cual la temperatura no se eleva ya que los días son cortos y el Sol no calienta por mucho tiempo. Cuando se produce el Invierno en el hemisferio Sur el calor del Sol es absorbido por los océanos y reemitido a la atmósfera de forma más gradual, y por lo tanto moderando la temperatura.

Todo esto se produce a pesar de que cuando el hemisferio Sur se encuentra en verano, la Tierra se ubica más cerca del Sol, y sin embargo el Norte tiene un invierno más intenso.

En el territorio mexicano se presentan dos estaciones bien marcadas: la época seca (de fines de noviembre hasta inicio de junio) que coincide con la temporada alta de turismo, y el ciclo lluvioso (de junio a noviembre), con precipitaciones torrenciales pero breves que se desatan, generalmente, en las tardes.

En la Ciudad de México el clima es seco y templado. Las mañanas y las noches suelen ser frescas, a diferencia de las tardes que son cálidas. El promedio de temperatura entre diciembre y marzo es de 20 grados centígrados, mientras que en los meses más calurosos (abril y mayo) los termómetros alcanzan hasta los 31 grados centígrados. Lluvias vespertinas se producen en julio y agosto. Son diarias y su duración no sobrepasa las dos horas.

Tabla 1.1 Tiempo de duración de cada estación climatológica del año

Estación:	Duración:
Primavera	92 días 18 horas y 29 minutos
Verano	93 días 15 horas y 12 minutos
Otoño	89 días 19 horas y 55 minutos
Invierno	89 días 0 horas y 11 minutos

## 1.4 RADIACIÓN QUE LLEGA A LA TIERRA

La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono(CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por la partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación. La intensidad de la radiación medida en la superficie de la Tierra varía de 1.6 a 0.

“De 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos en México se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8 GWh al año para electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Se espera tener instalados 25 MW con tecnología fotovoltaica para 2013”.<sup>1</sup>

La tabla 1.2 muestra la cantidad de radiación recibida en superficies orientadas de modo diferente en días claros.

---

<sup>1</sup> Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, SENER-GTZ 2006

**Tabla 1.2 Cantidad de radiación recibida en superficies**

Intervalo de longitud de onda, m	Energía transmitida					
	m = 0	1	2	3	4	5
Ultravioleta, 0.29-0.40	0.136	0.057	0.029	0.014	0.008	0.004
Visible, 0.40-0.70	0.774	0.601	0.470	0.371	0.295	0.235
Infrarrojo, por encima de 0.70	0.774	0.672	0.561	0.486	0.427	0.377
Totales						
Calorías por minuto, por cm <sup>2</sup>	1.896	1.330	1.060	0.871	0.730	0.616

### 1.4.1 COMPOSICIÓN DE LA LUZ SOLAR

El espectro de radiación electromagnética golpea la atmósfera terrestre es de  $100 \times 10^6 \eta\text{m}$  (nanómetros) Esto puede ser dividido en cinco regiones en orden creciente de longitud de onda.

1. Ultravioleta C o rango (UVC), que se expande en el rango de 100 a 280  $\eta\text{m}$ . El término ultravioleta se refiere al hecho de que la radiación está en una frecuencia mayor a la luz violeta (y, por lo tanto, es invisible al ojo humano). Debido a la absorción por la atmósfera solo una pequeña cantidad llega a la superficie de la Tierra (Litósfera). Este espectro de radiación tiene propiedades germicidas, y es usada en lámparas germicidas.

2. Ultravioleta B o rango (UVB) se extiende entre 280 y 315 nm. Es también absorbida en gran parte por la atmósfera, y junta a la UVC es responsable de las reacciones fotoquímicas que conllevan la producción de la capa de ozono.
3. Ultravioleta A o (UVA) se extiende entre los 315 y 400 nm. Ha sido tradicionalmente considerado menos dañino para el ADN, por lo que es usado al broncearse
4. Rango visible o luz se extiende entre los 400 y 700 nm. Como el nombre indica, es el rango que es visible al ojo humano naturalmente.
5. Rango Infrarrojo que se extiende entre 700 nm y 1 mm. Es esta radiación la principal responsable del calentamiento o calor que proporciona el sol. Está a su vez subdividido en tres tipos en función de la longitud de onda:
  - a) Infrarrojo-A: 700 nm a 1400 nm
  - b) Infrarrojo-B: 1400 nm a 3000 nm
  - c) Infrarrojo-C: 3000 nm a 1 mm.

#### **1.4.2 IRRADIACIÓN DIFUSA Y DIRECTA**

En su paso a través de la atmósfera, parte de la radiación es atenuada por dispersión y parte de la absorción. La radiación que es dispersada por la atmósfera se conoce como radiación difusa. A la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido cambios en su trayectoria lineal desde el disco solar se llama radiación directa. La mayoría de estos cálculos se pueden obtener directamente de la página del servicio meteorológico nacional en la cual se nos brinda la irradiación en una zona determinada. El valor de la radiación directa normal es necesario para el cálculo de la radiación normal sobre superficies inclinadas para el cálculo de colectores solares

### **1.4.3 USOS DE LA ENERGÍA SOLAR**

El fenómeno de la radiación solar permite obtener la energía emitida del sol para ser aprovechada de distintas formas y por distintos dispositivos:

**Energía térmica solar:** cuando la radiación solar es aprovechada para el calentamiento.

- Calefacción doméstica
- Calentamiento de agua
- Hornos solares
- Cocinas
- Evaporación

**Energía fotovoltaica:** cuando la radiación solar es aprovechada para la generación de electricidad a través del efecto fotovoltaico.

- Refrigeración
- Uso de electrodomésticos
- Acondicionamiento de aire
- Generación de energía eléctrica

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 semiindustriales. Segundo, 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. Tercero, aplicación de energía solar podrá competir en el futuro económicamente con otras fuentes de energía en algunas zonas de países industrializados, como los Estados Unidos de América, 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.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE CELDAS  
FOTOVOLTAICAS PARA EL MEDIO RURAL

CAPÍTULO 2

---

# *NUEVAS GENERACIONES DE ELECTRICIDAD*



**Figura 2.1 Plataformas petroleras de Pemex en Campeche**

En 2001 llegaban a 24 años las reservas de barriles de petróleo, con 32 mil 614 millones de barriles, y en 2006 representan sólo 11 mil 644 millones.

Fue drástica la reducción por la explotación intensiva del sexenio pasado. Hoy en día se ha estimado un tiempo de reserva de menos de 10 años de extracción del energético”.<sup>2</sup>

La reducción sistemática de la vida media de las reservas probadas de hidrocarburos es preocupante. Figura 2.1 se muestra una plataforma petrolera de extracción del petróleo crudo.

## 2.1 CONTAMINACIÓN A CAUSA DE ALGUNAS PLANTAS GENERADORAS.



**Figura 2.2 Central termoeléctrica en valle de México Ecatepec**

En 2007, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) la mayor parte de su generación se realizó a partir de combustóleo. Según la Secretaría de Energía (SENER) y la del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT): son nueve plantas las que generan el mayor número de partículas contaminantes, centrales como Tula, Mazatlán, Salamanca, Altamira, Petacalco, Río

escondido, Manzanillo, Rosarito y Tuxpan son las que mayor cantidad de azufre y partículas

emiten a la atmósfera, algunas de las cuales están ubicadas en zonas críticas, pues contribuyen con el 60.5 % de la emisión de contaminantes ver figura 2.2

---

<sup>2</sup>Diario la jornada ISRAEL RODRIGUEZ viernes 23 de febrero de 2007 economía

#### 2.1.1 PLANTAS GENERADORAS DE ELECTRICIDAD.



Figura 2.3 Central Hidroeléctrica  
Tuxpango, Veracruz

La energía generada en México por las plantas termoeléctricas representan el 44.8%, la de mayor capacidad en México es Tuxpan, en Veracruz que tiene 2.1 Gigawatts (GW) de capacidad de generación, en tanto las hidroeléctricas el 22.1%, ver figura 2.3, Entre las más importantes se encuentra la de Chicoasén que genera 2.4 GW, Infiernillo produce 1.1 GW. Mientras que la

nucleoeléctrica contribuye con el 2.73% la única en México es la de Laguna Verde con 1.3 GW. Con menor capacidad están las Geotermicas con 1.9% y la más importante en Cerro Prieto en Mexicali 0.22 GW. Las eólicas con sólo 0.17%, en 1994 se instaló la Venta en Juchitán, Oaxaca, produce sólo 0.08 GW con 104 unidades instaladas. Las carboeléctricas con 5.21%. El resto son los productores independientes que producen un alto porcentaje en relación con las otras formas de generación, ya que aportan el 22.9% de la capacidad instalada. Por lo que la capacidad eléctrica por fuentes alternativas en México es de 12.1 GW o cerca de 24.4% del total que se produce.

#### 2.2. ENERGIA EÓLICA.

Esta energía es obtenida gracias a la energía cinética del viento transformada en



Figura 2.4 Engranaje de la turbina

energía mecánica, un generador instalado en la parte superior trasera de las enormes hélices. La energía cinética del viento es considerada una tecnología madura para la generación eléctrica, comercialmente se encuentran disponibles aerogeneradores de 0.5 hasta 1.5 MW de potencia nominal, también existen prototipos con una potencia de 3 MW. Ver figura 2.4



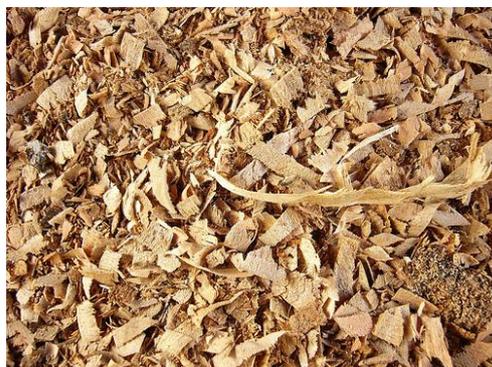
En México este recurso tiene un gran potencial, aprovechable en zonas identificadas, figura 2.5, como son el sur del Istmo de Tehuantepec, las penínsulas de baja california y Yucatán, la región central de zacatecas y hasta la frontera con Estados Unidos de América. Los avances más significativos han sido realizados por la CFE con la instalación de la central de 0.6 MW en la población de Guerrero Negro, Baja California Sur

**Figura 2.5** El presidente Felipe Calderón inauguró la central energética eólica Parques ecológicos de México en el estado de Oaxaca, mediante el cual se generará electricidad a partir del aprovechamiento de la fuerza del viento.

Los costos típicos de inversión para las instalaciones para el aprovechamiento de la energía eólica están entre 900 y 1,400 dólares por KW y los costos nivelados de generación se encuentran en un rango de 3.5 a 4 dólares por kWh

Este tipo de generación no produce ningún tipo de contaminante, a pesar de su alta inversión se sabe que no contribuye al calentamiento global. Aunque su costo de inversión al principio es elevado puede ser remunerable al instalar un conjunto de estas en zonas altamente estudiadas para su instalación.

### 2.3 BIOMASA.



La biomasa, ver figura 2.6 es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas.

**Figura 2.6** La biomasa

Desde principios de la historia de la humanidad, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. En la actualidad los principales usos que tiene son domésticos.

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético. Aunque se pueden hacer multitud de clasificaciones, se ha escogido la clasificación más aceptada, la cual divide la biomasa en cuatro tipos diferentes: biomasa natural, residual seca y húmeda y los cultivos energéticos.

- BIOMASA NATURAL.

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

- BIOMASA RESIDUAL (SECA Y HÚMEDA).



Figura 2.7 Desechos naturales para la obtención de biomasa

Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura (leñosas y herbáceas) y ganadería, en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, ver figura 2.7. Entre otras que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

En las ventajas medioambientales tenemos el correcto tratamiento de la biomasa supone un aumento del reciclaje y una disminución de los residuos. Aquí radica una de las mayores ventajas de la energía de biomasa pues supone convertir un residuo en un recurso.

**a) Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.** Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO<sub>2</sub>, la cantidad de este gas causante del efecto

invernadero, se puede considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.

**b) No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.** Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo el aprovechamiento de las tierras de retirada.

**c) Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios.** En el mercado de alimentos puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola. Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas. Puede provocar un aumento económico en el medio rural.

**d) Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.** En la actualidad la tecnología aplicada a la biomasa está sufriendo un gran desarrollo. La investigación se está centrando en los siguientes puntos:

- En el aumento del rendimiento energético de este recurso.
- En minimizar los efectos negativos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones
- En aumentar la competitividad en el mercado de los productos.
- En posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustible.

## 2.4 PANELES FOTOVOLTÁICOS.

Los paneles solares son dispositivos que convierten energía solar en energía eléctrica. La luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil.

#### 2.4.1 TIPOS DE PANELES EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES.

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

- **SILICIO PURO MONOCRISTALINO.**



Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.ver figura 2.8.

Figura 2.8 Panel fotovoltaico monocristalino.

- **SILICIO PURO POLICRISTALINO.**



En este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo. Ver figura 2.9

Figura 2.9 Panel solar Policristalino

- **SILICIO AMORFO.**



Figura 2.10 Panel fotovoltaico de silicio amorfo.

(TFS) Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%. Este es considerado como de lámina delgada figura 2.10.

- **TELURO DE CADMIO.**

Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%. Estos paneles están contruidos con láminas finas de telurio de cadmio, aunque su mayor ventaja es su bajo coste de producción. Al contrario que sus homólogos convencionales de Silicio,



Figura 2.11 Panel fotovoltaico de telurio 5 de cadmio.

estos paneles pueden producirse en serie en un proceso totalmente automático. El coste de producción será de un dólar por vatio, con un precio de venta al público de unos dos dólares por vatio. De todas formas, esta tecnología se enfrenta a un problema muy grave; el Telurio es uno de los elementos más escasos que existen; es más escaso incluso que el platino ver figura 2.11.

- **ARSENIURO DE GALIO.(GaAs)**



Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20% el problema es que estos materiales son muy caros. Esta es la tecnología que se utiliza para los paneles de satélites y naves espaciales por la NASA ver figura 2.12.

Figura 2.12 Panel fotovoltaico de arseniuro de galio.

- **DISELENIURO DE COBRE EN INDIO (CuInSe<sub>2</sub>, o CIS)**

La deposición de capas delgadas de diseleniuro de cobre e indio (CuInSe<sub>2</sub>, o CIS) resulta un proceso poco costoso y atractivo para la fabricación de paneles solares. Propiedades morfológicas de la superficie a escala nanométrica tienen una estrecha relación con el modo de producción, y además un efecto en la eficiencia y en el envejecimiento del dispositivo en base a películas delgadas. La microscopía por fuerza atómica (AFM) es una herramienta muy útil para tal estudio. Presenta rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.

- **PANELES TÁNDEM.**

Combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar. Mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo.

Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%. La célula con material semiconductor 1 solo aprovecha una parte del espectro electromagnético de que está compuesta la luz solar.

La célula con el material semiconductor 2 aprovecha otra parte del espectro electromagnético de la luz diferente al del material semiconductor 1. En la célula Tándem se combinan ambos tipos de materiales, con lo que se aprovecha la parte

del espectro electromagnético de ambos tipos de materiales capaces de transformar en energía eléctrica.

El rendimiento total será en teoría la suma de los rendimientos de ambos tipos de células por separado.

La mayoría de los módulos comercializados actualmente están realizados de silicio monocristalino, policristalino y amorfo. El resto de materiales se emplean para aplicaciones más específicas y son más difíciles de encontrar en el mercado.

#### 2.4.2 TIPOS DE PANELES EN FUNCIÓN DE SU FORMA.

También es posible clasificar los tipos de paneles en función de su forma. Empleándose cualquiera de los materiales antes comentados se fabrican paneles en distintos formatos para adaptarse a una aplicación en concreto o bien para lograr un mayor rendimiento. Algunos ejemplos de formas de paneles distintos del clásico plano son:

- **PANELES CON SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN.**



Un ejemplo de ellos es el modelo desarrollado por una marca española, el cual mediante una serie de superficies reflectantes concentra la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Aunque el porcentaje de conversión no varíe, una misma superficie de panel producirá más electricidad ya que recibe una cantidad concentrada de fotones. Actualmente se investiga en sistemas que concentran la radiación solar por medio de lentes. La concentración de la luz sobre los paneles solares es una de las vías que están desarrollando los fabricantes para lograr aumentar la efectividad de las células fotovoltaicas y bajar los costes figura 2.13.

**Figura 2.13 Paneles con concentración**

- **PANELES DE FORMATO “TEJA O BALDOSA”.**



Estos paneles son de pequeño tamaño y están pensados para combinarse en gran número para así cubrir las grandes superficies que ofrecen los tejados de las viviendas. Aptos para cubrir grandes demandas energéticas en los que se necesita una elevada superficie de captación. Ver figura 2.14.

Figura 2.14 Panel de teja o baldosa.

- **PANELES BIFACIALES.**

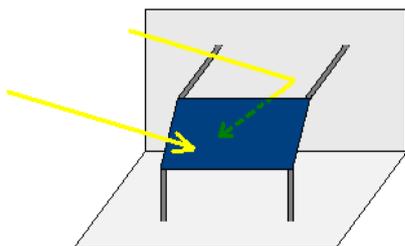


Figura 2.15 Panel bifacial

Basados en un tipo de panel capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras ver figura 2.15. Para aprovechar convenientemente esta cualidad se coloca sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel. Gracias a estas características pueden producir hasta un 50% más que el resto de los paneles solares.

Su uso para integrarse con la arquitectura es amplio, pueden usarse como tejado para un patio, parkings en forma de claraboyas o en fachadas para aprovechar la luz reflejada y de paso hacen sombra en espacios que necesitamos.

## 2.5 NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Actualmente en México, la situación económica obliga a que sus habitantes busquen a obtener artículos más baratos y eficientes para su larga duración y menor inversión a largo plazo.

El beneficio de los paneles solares fotovoltaicos orgánicos es que tienen un costo mucho menor que los paneles típicos de silicio.

- **CIGS.**

Es un nuevo tipo de panel solar muy fino, muy barato de producir y que dicen sus desarrolladores presenta el mayor nivel de eficiencia de todos los materiales. Este nuevo tipo de panel está basado en el cobre, Indio, Galio diselenido (CIGS) y se prevé que en un futuro no muy lejano, debido a su competitiva relación entre producción de energía/costo pueda llegar a sustituir a los combustibles fósiles en la producción de energía.

- **SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR.**



En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar. Mejoran hasta en un 40% el rendimiento de las instalaciones solares, por lo que pueden contribuir a generalizar esta energía renovable entre los consumidores. Es una especie de girasol mecánico, ya que su misión consiste en que sus paneles solares sigan al Sol desde su salida hasta su puesta. De esta manera, aprovechan la radiación solar mucho mejor que los sistemas solares fijos. Ver figura 2.16

**Figura 2.16** Sistemas de Seguimiento solar

El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte.

## 2.6 SOPORTES

- Colocación sobre soporte estático- Soporte sencillo sin movimiento. Dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dotan a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones.

- Sistemas de seguimiento solar de 1 eje. Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir la inclinación del Sol, pero no ambas a la vez.

- Sistemas de seguimiento solar de dos ejes. Con este sistema ya es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes:

### 2.6.1 DISPOSITIVOS SIN MOTOR.

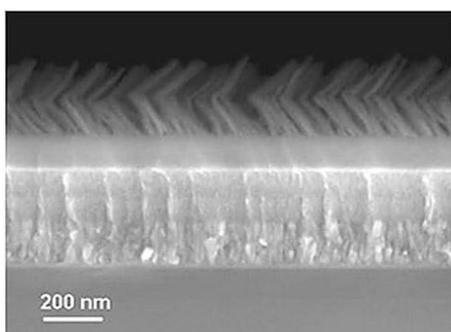
Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol.

Se estima que con estos sistemas se puede lograr un aumento de entre el 30% y el 40% de la energía captada. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad.

### 2.6.2 OTROS ELEMENTOS ASOCIADOS A LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.

El panel solar es el elemento encargado de captar la energía del sol y de transformarla en energía eléctrica que se pueda ser usada. Asociado los paneles existen otros componentes que se utilizan en las instalaciones como elementos de seguridad o que amplían las posibilidades del uso de la instalación. Los componentes esenciales de una instalación fotovoltaica son.

- Recubrimiento antirreflexivo



Las capas antirreflectantes consisten en una fina película de material dieléctrico tal que, para un índice de refracción y con un espesor escogido especialmente, los efectos de interferencia en la lámina causen un defasaje entre la onda luminosa reflejada en la película antirreflectante y la onda reflejada en la superficie del semiconductor.

Figura 2.17 Recubrimiento

Para conseguir la máxima eficiencia al convertir la luz solar en electricidad, es necesario que el panel sea capaz de absorber hasta el último fotón de luz que caiga sobre su superficie, y que lo haga con independencia de la posición que tenga el sol en el cielo. Ver figura 2.17

Si los paneles solares no se les aplica el recubrimiento antirreflexivo los paneles solares absorberían solo una parte de la radiación incidente. Al desarrollar un recubrimiento de 7 capas que permite absorber el 96.21% de la luz solar. Como comparación, un panel sin tratar solo absorbe unas 2/3 partes del total de luz incidente.

El recubrimiento permite lograr esto desde cualquier ángulo, por lo que no sería necesario el uso de seguidores solares.

Las siete capas, cada una con una altura entre 50 y 100 nm, están hechas con nano-barras de dióxido de silicio y dióxido de titanio colocadas de forma oblicua. Cada capa cumple una función similar a la de las copas de los árboles en un

bosque, capturan la luz. Las nano-barras se anclan a un sustrato de silicio mediante el uso de un vapor químico esta cobertura puede aplicarse a cualquier material fotovoltaico usado en las células solares, incluidas la células multi-unión y las de telurio de cadmio (TeCd).

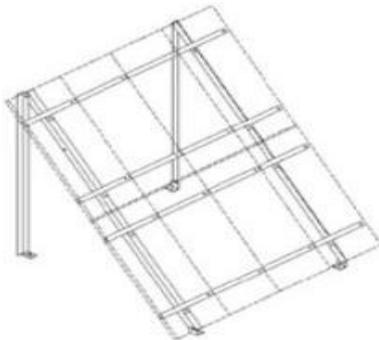
#### 2.6.3 ESTANTES Y GABINETES PARA BATERÍAS



El gabinete para las baterías se coloca en la parte baja del poste o debajo del panel fotovoltaico, normalmente se fabrican gabinetes para contener de una a 4 baterías, en el mismo gabinete se coloca el cableado correspondiente y se realiza la interconexión eléctrica de los componentes del sistema. Ver figura 2.18

Figura 2.18 Gabinete para baterías

#### 2.6.4 BASTIDOR DE ALUMINIO

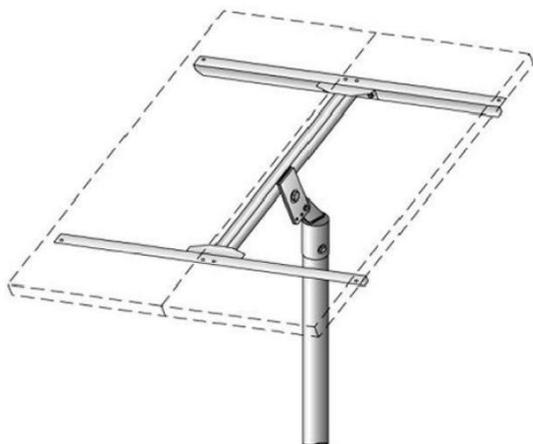


El propósito del bastidor de aluminio básicamente es darle la posición deseada y la firmeza para establecerse en el lugar requerido para la mayor captación solar que se le asignará.

Hay de diferentes tipos en el mercado y con diferentes materiales. Ya que el aluminio es un material muy liviano y resistente al clima es el más indicado Ver figura 2.19

Figura 2.19 Bastidor

- Soporte metálico para arreglo fotovoltaico



Soporte metálico galvanizado con una altura de 3 metros ajustable. Plato soporte superior de la placa metálica móvil con una inclinación de 15° 30" con giro de 360° para poder definir más precisamente la orientación del panel que uno quiera darle posee canal de acero al bajo carbón para mayor resistencia y durabilidad, el mantenimiento es nulo y la garantía de por vida, ver figura 2.20.

Figura 2.20 Soporte Giratorio

## 2.7 EFECTO FOTOVOLTAICO.

Presentado normalmente como arena, mediante sofisticados procesos de manufactura, se obtiene el silicio en su forma pura. El cristal de silicio puro no posee electrones libres y por lo tanto resulta un mal conductor eléctrico. Para cambiar esto se le agregan porcentajes de otros elementos. Este proceso se denomina dopado. Mediante el dopado de silicio con fósforo se obtiene un material con electrones libres o material con portadores de carga negativa (silicio tipo N). Realizando el mismo proceso, pero agregando Boro en lugar de fósforo, se obtiene un material de características inversas; esto es déficit de electrones o material con cargas positivas libres o huecos (silicio tipo P). Cada celda solar se compone de una delgada capa de material tipo N y otra de mayor espesor de material tipo P

Los fotones enviados por la radiación solar impactan sobre la célula, que está formada por materiales semiconductores. Un fotón de energía luminosa choca con un electrón de valencia y transferirle energía suficiente para que abandone el átomo padre para generar huecos libres y electrones, este fenómeno se repetirá en cada lado de la unión N.

En el material tipo *p* los electrones recién generados serán portadores minoritarios y se moverán relativamente libres a través de la unión *p-n* básica sin polarización aplicada. Lo mismo sucede para los huecos generados en el material tipo *n*.

El resultado es un flujo de portadores minoritarios, el cual tiene una dirección opuesta a la corriente directa convencional de una unión  $p-n$ . Solo se ha conseguido que por cada fotón se generará un electrón y calor.

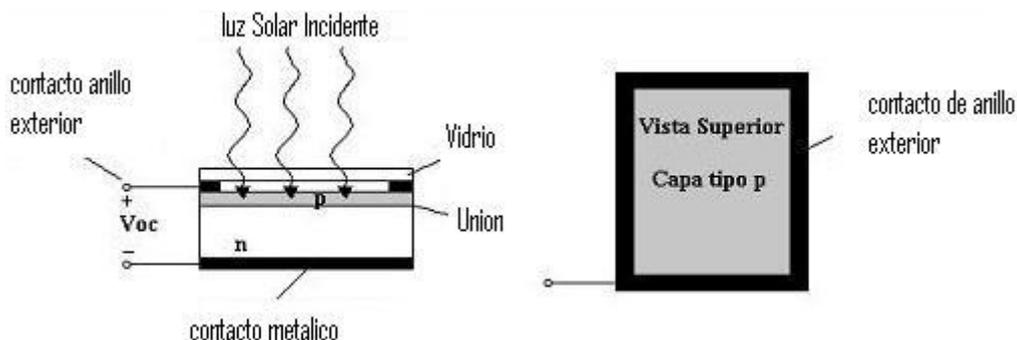


Figura 2.21 construcción básica de una celda solar

En las figuras anteriores se muestran las composiciones básicas de la celda solar; ver figura 2.21. Como se ha mencionado, los materiales más comunes están compuestos por materiales semiconductores y en este caso tenemos materiales tipo P y tipo N. el conductor metálico conectado a el material tipo P y el grosor del material tipo P, son tales que aseguran que un número máximo de fotones de la energía laminosa llegará a la unión.

Un fotón de energía luminosa choca con un electrón de valencia y transferirle energía suficiente para que abandone el átomo padre para generar huecos libres y electrones.

Es por esto que se considera inagotable a un dispositivo fotovoltaico. Produce energía eléctrica como respuesta a la energía lumínica que ingresa en el mismo. Cabe aclarar que una celda fotovoltaica no puede almacenar energía eléctrica.

## 2.8 DISEÑO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Para diseñar apropiadamente una celda solar es necesario especificar los parámetros de la estructura de la celda solar, de manera tal que se maximice la eficiencia, teniendo en cuenta una serie de limitantes. A su vez, dichas limitantes estarán dadas por los objetivos específicos de uso que tendrá el dispositivo, lo que se define por el ambiente de trabajo en que se producen. El límite de eficiencia teórica para la conversión fotovoltaica supera el 90%, pero para llegar a estos valores, se deben hacer muchas consideraciones físicas, difíciles o imposibles de

cumplir desde el punto de vista práctico, dadas las presentes tecnologías y niveles de comprensión del dispositivo físico. Para celdas solares de silicio operando bajo un sol de potencia luminosa, una eficiencia más realista estaría en el orden de 26 al 28 %. La eficiencia máxima medida para una celda solar de silicio en estos momentos es de 24.7 %,

#### 2.8.1 FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS



**Figura 2.22 Células fotovoltaicas utilizadas en la fabricación de los paneles solares**

El módulo fotovoltaico está compuesto por células individuales conectadas en serie. Este tipo de conexión permite adicionar tensiones. La tensión nominal del módulo será igual al producto del número de celdas que lo componen por la tensión de cada celda (aprox. 0.5 Volts). Generalmente se producen módulos formados por 30, 32, 33 y 36 celdas en serie, según la aplicación requerida.

Se busca proporcionarles al módulo rigidez en su estructura, aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes climáticos. Por esto, las celdas conectadas en serie son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacelato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol, y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior. En algunos casos el vidrio es reemplazado por una lámina de material plástico transparente. Ver figura 2.22

El módulo tiene un marco que se compone de aluminio o de poliuretano y cajas de conexiones a las cuales llegan las terminales positivo y negativo de la serie de celdas.

Las etapas del proceso de fabricación del módulo son las siguientes:

- Prueba eléctrica y clasificación de las celdas
- Interconexión eléctrica de las celdas entre sí
- Ensamble del conjunto. Colocación de las celdas soldadas entre capas de plástico encapsulante y láminas de vidrio y plástico.
- Laminación del módulo. El conjunto se procesa en una máquina semiautomática a alto vacío que, por un proceso de calentamiento y presión mecánica, conforma el laminado.
- Curado. El laminado es procesado en un horno de temperatura controlada en el cual se completa la polimerización de plástico encapsulante y se logra la perfecta adhesión de los distintos componentes. El conjunto, después del curado forma una sola pieza
- Enmarcado. Se coloca primero un sellador elástico en todo el perímetro del laminado y luego los perfiles de aluminio que forman el marco. Se usan máquinas neumáticas para lograr la presión adecuada. Los marcos de poliuretano se colocan utilizando máquinas de inyección.
- Colocación de terminales, diodos y cajas de conexiones
- Prueba final

#### **2.8.2 PRUEBAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Sobre los módulos, las pruebas deben ser medidas y observadas:

- Características eléctricas operativas
- Aislamiento eléctrico (a 3000 Volt de C.C.)
- Aspectos físicos, defectos de terminación, etc.
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la tracción de las conexiones
- Resistencia a la niebla salina y a la humedad ambiente
- Comportamiento a temperaturas elevadas por tiempos prolongados (100 grados centígrados durante 20 días)
- Estabilidad al ciclado térmico (- 40 grados C a + 90 grados C) en ciclos sucesivos.

#### 2.8.3 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS DE ALTA EFICIENCIA.

Es muy importante la eficiencia de los paneles ya que la recepción de fotones es complicada y escasa. Por ello, se requiere una eficiencia máxima y tener en cuenta los siguientes principios:

- Incrementar la cantidad de luz colectada por la celda que produce pares de portadores.
- Incrementar la colección de portadores fotogenerados por la juntura p-n.
- Minimizar la corriente oscura en inversa
- Extraer la corriente de la celda sin pérdidas por resistencia.
- Propiedades ópticas

Las pérdidas ópticas se deben a luz que pudo haber generado pares de electrón hueco pero no lo hizo, ya sea porque se reflejó en la superficie frontal del dispositivo, en algunas de las múltiples interfaces o porque no se absorbió por la celda. Estas pérdidas afectan esencialmente el dispositivo por disminución de la corriente de corto circuito. Para las celdas solares más comunes, el espectro visible completo tiene suficiente energía para crear pares electrón-hueco y por lo tanto idealmente, toda la luz visible habría de ser absorbida.

El contacto posterior ha sido uno de los problemas más importantes enfrentados en la última década en la optimización de celdas. Debido a que la función de trabajo de las celdas es muy alta, resultaba difícil encontrar un material que cumpliera los requerimientos para hacer contacto óhmico.

Las soluciones para reducir las pérdidas ópticas tenemos paralelamente la eficiencia y la reducción de pérdidas que son muy importantes para el diseño de las celdas ya que ambas van de la mano para optimizar la misma.

- Minimizar el área cubierta por contactos en la superficie frontal de la celda. Esto podría resultar en un aumento de la resistencia serie, por lo que constituye un elemento de optimización de más de un factor.
- Utilización del texturado y de películas anti-reflexivas en la superficie de la celda.
- Aumentar el espesor de la celda para incrementar la absorción. Debe tenerse en cuenta no obstante, que cualquier luz absorbida más allá de la longitud de difusión de los portadores a la juntura, probablemente no contribuirá a la corriente de corto circuito en tanto los portadores fotogenerados recombinarán.
- La longitud del camino óptico recorrido en la celda solar puede ser incrementado mediante una combinación de texturado superficial y atrapamiento de la luz.

En la superposición de capas antirreflectantes se logra “doblar” el flujo de luz solar a un ángulo que aumenta sus propiedades anti reflejantes de las mismas. Esto significa que un panel solar fijo que utilice la tecnología multicapas podría absorber un 96.21% de la luz del sol, sin importar la posición del sol en el cielo.

De forma que esta tecnología no sólo aumenta la eficiencia de los paneles solares sino que además podría llegar a lograr grandes ahorros en el uso de sistemas de seguimiento solar.

#### 2.8.4 TEXTURADO SUPERFICIAL Y PÉRDIDAS

El texturado superficial, puede también ser utilizado para minimizar la reflexión, ya sea en combinación con películas antirreflectantes o por sí solo. Cualquier rugosidad de la superficie reduce la reflexión debido al incremento de la probabilidad de rebotar en sentido contrario la luz reflejada sobre la superficie, en vez de salir directamente al aire.

- **PÉRDIDAS POR RECOMBINACIÓN.**

Las pérdidas por recombinación afectan tanto la colección de la corriente (y por lo tanto la corriente de corto circuito), como la inyección de corriente en inversa o sea, el voltaje a circuito abierto.

- **REDUCCIÓN DE LA RECOMBINACIÓN.**

En la superficie de un semiconductor se introduce un gran número de estados defectuosos debido a enlaces no saturados, residuos químicos, deposiciones de materiales y/o dislocaciones de una red cristalina.

- **PÉRDIDAS DE CORRIENTE DEBIDO A LA RECOMBINACIÓN.**

Para que la unión p-n de la celda sea capaz de coleccionar todos los portadores fotogenerados, tanto la recombinación superficial como la volumétrica, tienen que sea minimizadas. En celdas solares de silicio, las dos condiciones usualmente requeridas para la máxima colección de la corriente son: Los portadores deben generarse en una región dentro de la longitud de difusión de la juntura, de forma tal que difundan hacia la misma antes de recombinarse.

- **PÉRDIDAS DE VOLTAJE DEBIDO A LA RECOMBINACIÓN.**

El voltaje a circuito abierto es el voltaje al cual la corriente de difusión en directa es exactamente igual a la corriente de corto circuito. La corriente de difusión en directa es dependiente del monto de la recombinación en una juntura p-n y el incremento de la recombinación incrementará la corriente en directa. La recombinación se controla por el número de portadores minoritarios en el borde de la juntura, cuán rápido se separan de la misma y cuán rápido se recombinan.

#### 2.8.5 PARÁMETROS DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA DE SILICIO

Para el diseño básico de celdas solares de silicio las limitantes fundamentales son la reflexión superficial, la colección de portadores, la recombinación y las pérdidas por resistencia parásita.

El espesor de una celda solar optimizada con atrapamiento de luz y buena pasivación superficial esta alrededor de las 100  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, celdas con espesores entre 200 y 500  $\mu\text{m}$  son típicamente usadas, en parte por razones

En el dopaje del emisor (tipo n) el silicio tipo n tiene una calidad superficial mucho mayor que el p, por lo que se sitúa en la parte frontal de la celda, en tanto es en esta donde se absorbe más luz.

Es el que está impurificado con impurezas "Donadoras", que son impurezas pentavalentes. Como los electrones superan a los huecos en un semiconductor tipo n, reciben el nombre de "portadores mayoritarios", mientras que a los huecos se les denomina "portadores minoritarios".

Al aplicar una tensión al semiconductor de la figura, los electrones libres dentro del semiconductor se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. Cuando un hueco llega al extremo derecho del cristal, uno de los electrones del circuito externo entra al semiconductor y se recombina con el hueco.

## 2.9 APLICACIONES

La luz solar está siendo aprovechada con un único fin: poder reemplazar a futuro todas aquellas energías que no son renovables, es decir, aquellas que se agotan. Con el correr de los años. Las investigaciones que incluían a la luz solar otorgaron mayores beneficios, en algunos casos impensados tales como la reducción de costos, posibilidad de plantar diferentes semillas sin la necesidad de ser dueños de grandes parcelas de campo, la no contaminación ambiental, etc.

La luz proveniente del sol posee muchas ventajas y utilidades que merecen ser exploradas y difundidas, con la carencia actual de los combustibles fósiles es necesario que pensemos en la alternativa de aprovechar fuentes de energía que puedan renovarse como al mismo tiempo que provoquen el menor daño posible al medio ambiente

### 2.9.1 PARQUES FOTOVOLTAICOS.



Figura 2.22 Parque bicentenario

Es en el Distrito Federal, en donde se localiza el parque ecológico más grande en esta zona. Lo que desde 1930 fue una refinería, hasta 1991 que dejó graves daños al subsuelo y suelo de esa zona. El Parque Bicentenario también será ejemplo de aprovechamiento de los recursos, ya que la iluminación se alimenta de celdas solares ver figura 2.22

Cuenta con sistema de captación de agua de lluvias para su riego y alimentación del acuífero, además de contar con una planta de tratamiento de agua con una capacidad de 25 litros por segundo.

En mayo de 2010 fue instalado un sistema solar fotovoltaico de 30 mil watts (30 kW) para interconexión a la red pública, en el interior del Museo de Tecnología de la CFE (MUTEC), ver figura 2.23 en la segunda sección del Bosque de Chapultepec en la delegación Miguel Hidalgo del Distrito Federal.



**Figura 2.23 MUTEC**

Dicho sistema fue adquirido por la CFE para demostrar la efectividad de la interacción del sistema solar con la red eléctrica. Así pues, los visitantes podrán apreciar cómo se aprovecha la energía proveniente del Sol y luego es convertida en electricidad que puede ser usada para propósitos cotidianos. Funcionamiento de sistema:

en corriente directa (CD) y luego mediante un dispositivo electrónico llamado inversor es a su vez convertida en corriente alterna (CA) que se pone en sincronía con la fuente eléctrica que llega de la calle. La ventaja de este sistema es que no necesita baterías, requiere muy poco mantenimiento y su fuente de energía es gratuita: la luz solar

#### 2.9.2 PARABUS



**Figura 2.24 Parabus**

Estos proyectos son financiados por grandes empresas que brindan energía limpia y bien aprovechada en algunas partes de México. Las celdas solares son instaladas para la

iluminación del parabus con lámparas luminosas de LED. Estos proyectos se financian a cambio de colocar mercadotecnia en sus costados y de esta manera se obtienen ambos beneficios. Ver figura 2.24

#### EQUIPO SOLAR CON LÁMPARAS PARA EL PARABUS

- Económica y ecológicamente convenciendo;
- El equipo consiste de 4 paneles orientables a todos los puestos cardinales
- Unidad de control con carga del sistema eléctrico;
- Protección contra la descarga total y administración de tiempo para el usos eficientes de la batería;
- Iluminación con lámparas LEDs;
- Resistente al agua salada.
- Incluye cable de 3.8 mts de longitud.

# PROYECTO ENERGÉTICO

### **3.1 ANTECEDENTES**

El estado de Puebla, se encuentra en la parte centro de la República Mexicana. Limita al norte con el estado de Veracruz, al oeste con el estado Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México y Morelos, al sur con el estado de Guerrero y Oaxaca.

Por su diversidad geográfica con valles, lagunas, ríos y zonas semidesérticas este estado presenta distintas condiciones climáticas, sin embargo, predominan las zonas de temperaturas templadas, especialmente desde la llamada Sierra Nevada en el oriente, hasta el Pico de Orizaba en el occidente; y, de norte a sur, entre San José de Chiapas hasta San Vicente Coyotepec, incluyendo a Puebla de los Ángeles. En estas áreas la temperatura fluctúa entre los 12° y los 18° centígrados; ver tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

**(Tabla 3.1) Temperaturas medias en Puebla**

<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
13.8	15.0	17.6	18.7	19.2	18.1	17.1	17.5	17.0	16.5	15.2	13.8

**(Tabla 3.2) Temperaturas máximas en Puebla**

<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
13.8	15.0	17.6	18.7	19.2	18.1	17.1	17.5	17.0	16.5	15.2	13.8

**(Tabla 3.3) Temperaturas mínimas en Puebla**

<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
6.0	7.1	9.7	11.3	12.1	12.6	11.5	11.5	11.5	6.0	6.0	6.0

La radiación solar es intensa durante todo el año. En diciembre y enero la relativa menor intensidad de radiación solar queda compensada con la falta de nubes por la estación seca, lo que permite muchas horas de captación solar. En julio y agosto la radiación solar es muy potente pero llega más desigualmente a la superficie terrestre debido a las nubes que se van desarrollando durante el día.



El 35% de la superficie del estado presenta clima templado subhúmedo en la región central y sureste el 25% presenta clima cálido subhúmedo en la parte norte y sureste, el 19% presenta clima seco y semiseco hacia el sur y centro oeste; el 14% clima cálido húmedo localiza en el norte y sureste, el 7% presenta clima templado húmedo en la región norte y una pequeña área hacia el sureste; también encontramos 0.2% de clima frío en la cumbre de los volcanes. En la figura 3.1 se muestran los estados colindantes a Puebla. La precipitación media estatal es de 1,270 milímetros de agua (mmH<sub>2</sub>O) anual, las lluvias se presentan en verano de junio a octubre.

Figura 3.1

Tabla 3.4 Diferentes climas en el estado de Puebla

Templado subhúmedo	35%
Seco y semiseco	19%
Cálido subhúmedo	25%
Cálido húmedo	14%
Templado húmedo	7%
Frío de alta montaña	0.2%

Las áreas agrícolas en la entidad se encuentran principalmente en las regiones con clima templado subhúmedo, el maíz aún es el cultivo principal; también se produce cacahuate, papa, ajo, y frijol entre otros. Las frutas: manzana, perón, aguacate, café y naranja. En la tabla 3.4 los diferentes climas que se presentan en las diferentes localidades de la zona de Puebla.

La flora representativa de las zonas altas de la Sierra Norte son el canchán, ojob y palo de agua; mientras que en las cumbres del sistema volcánico transversal encontramos palo mulato, bosques de pino, encino y oyamel. En los valles semicálidos abundan las plantas de hojas caedizas como el cuajote, copal y cuachalalate. La fauna que habita en la entidad se compone de las siguientes especies, leopardo, jabalí, lobo, puerco espín, tejón, ardilla, cenizote, jilguero y víbora de cascabel.

En la punta noreste del estado la sierra Madre Oriental toma el nombre regional de sierra Norte de Puebla, mientras que el resto del estado se localiza el sistema volcánico transversal, parte del eje neovolcánico. En esta zona destacan los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, además del volcán Citlaltépetl, mejor conocido como Pico de Orizaba, la cumbre más alta de todo México con una altura sobre el



**Figura 3.2 Pico de Orizaba**

nivel del mar de 5,610 m. Puebla y Veracruz comparten el territorio del Pico de Orizaba, ver figura 3.2. Otras grandes elevaciones son, el volcán Popocatepetl, 5,500 msnm (metros sobre el nivel del mar); volcán Iztaccíhuatl, 5,220 msnm; Carreo La Negra, 4,580 msnm; volcán Matlalcuéyetl, 4,420; Cerro El Rosario, 3,440 msnm; Cerro Derrumbadas, 3,400 msnm; Cerro Zizintépetl, 3,260 msnm y Cerro Hilillo 3,140 msnm entre otros.

En el municipio de zautla confluyen 2 regiones morfológicas; convencionalmente se considera que del río Apulco hacia el Oriente, es parte del declive austral de la sierra norte, y del río hacia el poniente, la Sierra Norte.

La Sierra Norte o Sierra de Puebla forma parte de la Sierra Madre Oriental y está constituida por sierras más o menos individuales, paralelas comprimidas las unas con las otras y que suelen formar grandes o pequeñas altiplanicies intermontañas que aparecen frecuentemente escalonadas hacia la costa, en tanto que el declive austral de la Sierra Norte es el descenso, bastante irregular, de la Sierra hacia los Llanos de San Juan.

El territorio del municipio presenta un relieve bastante montañoso e irregular, exceptuando al extremo oriente donde existe una topografía plana. La orografía del municipio está conformada por varias sierras y cerros aislados, así como por valles intermontañas determinando continuos ascensos y descensos

Las diferentes texturas geográficas en el estado de Puebla crean grandes obstáculos para el abastecimiento de energía eléctrica por parte de la comisión federal de electricidad (CFE). Por ello, la CFE a creado un marco legal en el cual se

deslinda de cualquier obstáculo geográfico que encuentre en el transcurso del abastecimiento de una pequeña zona de habitantes.

A continuación son nombrados los obstáculos geológicos y económicos para abastecer la zona de dicho proyecto.

Los siguientes artículos correspondientes a la ley del servicio público de energía eléctrica, se refieren a derechos que posee CFE respecto a la energía eléctrica.

El primer capítulo se refiere a la no intervención de otros países en el manejo de la energía eléctrica y el artículo 25 del capítulo V se enfoca más en el presente tema: los impedimentos en la transmisión de energía eléctrica por obstáculos geológicos y/o económicos.

**ARTICULO 1o.-** Corresponde exclusivamente a la Nación, generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público, en los términos del Artículo 27 Constitucional. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechará, a través de la Comisión Federal de Electricidad, los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.

**CAPITULO V**  
**Del Suministro de Energía Eléctrica**

**ARTÍCULO 25.-** La Comisión Federal de Electricidad deberá suministrar energía eléctrica a todo el que lo solicite, salvo que exista impedimento técnico o razones económicas para hacerlo, sin establecer preferencia alguna dentro de cada clasificación tarifaria. El reglamento fijará los requisitos que debe cumplir el solicitante del servicio, y señalará los plazos para celebrar el contrato y efectuar la conexión de los servicios por parte de la Comisión.

Artículo reformado DOF 27-12-1983

### 3.2 LUGAR DEL PROYECTO ENERGÉTICO

El terreno está ubicado en San Miguel Tenextatiloyan Puebla, que está situado en el municipio de Zautla en la entrada a la Sierra Nororiental a 150km de la capital del estado ver figura 3.3. Colinda con el estado de Veracruz.

La localidad de San Miguel Tenextatiloyan está a 2,420 msnm, buena insolación solar, sin sombras de importancia y con frecuentes días soleados continuos con periodo estival. Sus coordenadas geográficas son Longitud:  $19^{\circ} 42' 33''$ , Latitud:  $-97^{\circ} 35' 40''$

En el sitio, se pueden establecer cualquiera de los servicios necesarios para desarrollar una localidad. A una profundidad de no más de 3 m se puede encontrar agua lo suficiente mente limpia para abastecer varios servicios, se a considerado que el sistema de drenaje sea por sistema ecológico.

El sistema de gas puede ser abastecido por medio de tanques de 50 lts que serán remplazados aproximadamente bimestral mente.



Figura 3.3 San Miguel Tenextatiloyan visto desde google maps

### 3.3 IRRADIACIÓN SOLAR.

México está ubicado en el cinturón solar de la tierra, ver figura 3.4. El país tiene una alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio con una irradiación media anual de aproximadamente 5 kWh/m<sup>2</sup> por día.

México es uno de los países a nivel mundial que presenta condiciones ideales para el aprovechamiento masivo de energía solar. Sin embargo, este potencial no se ha aprovechado ampliamente.

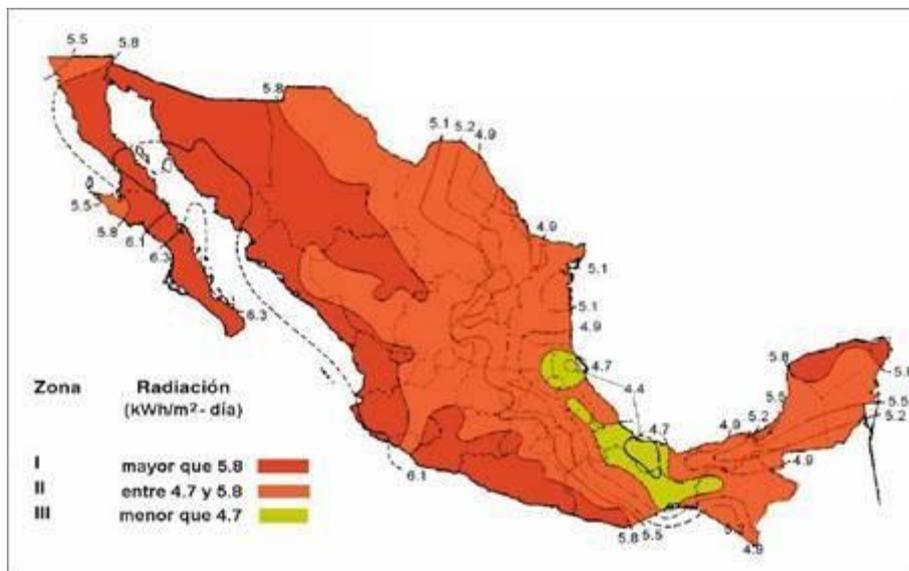


Figura 3.4 Irradiación solar diaria de México. Promedio anual

Un aspecto importante que se requiere para el cálculo de las celdas solares es la irradiación global de la zona en donde se hará la instalación. Es importante obtenerla mensualmente durante un periodo de 12 meses para finalmente obtenerla como irradiación global media. A continuación se obtuvieron dichos datos en la zona establecida. Ver tabla 3.5.

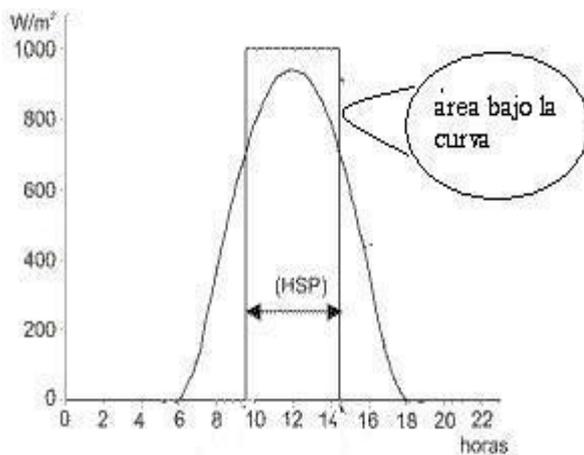
**TABLA 3.5 “Irradiación global media en San Miguel Tenextatiloyan”<sup>3</sup>, datos en  $\frac{kWh}{m^2}$**

ENE	FEB	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	MED
4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5

### 3.3.1 HORAS PICO SOLAR (HPS) h

Uno de los conceptos más importantes es el de irradiación, éste corresponde a la integración de la irradiancia en un período determinado. En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado.

Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente kilowattshora por metro cuadrado ( $kWh/m^2$ ). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. Las horas solares pico también se pueden expresar en términos de insolación. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de  $1\text{ KW}/m^2$ , ver figura 3.5 La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.



**Figura 3.5 Irradiancia y horas solares pico (Insolación) durante un día soleado**

Como se puede observar en la figura 3.5 el área definida por el rectángulo (irradiación en base a las horas pico solar) es igual a el área definida por la curva horaria de irradiación real ya que ambas representan la misma energía total

<sup>3</sup> Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la República Mexicana (R. Almanza S., E. Cajigal R., J. Barrientos A. 1997) ver anexo

Para calcular la energía total incidente en el día en un metro cuadrado se utiliza Irradiación = Área bajo la curva.

Si se utiliza el ejemplo de la figura 3.5 se nota que el sol incide desde las 9:30 horas hasta las 14:30 horas, es decir, un tiempo total de 5 horas.

$$\text{Irradiación} = (\text{base}) \times (\text{altura}) \quad \text{ecuación 3.1}$$

$$\text{Por lo tanto: irradiación} = 5\text{h} (1000\text{W}/\text{m}^2) = 5\text{KWh}/\text{m}^2$$

Obsérvese que el valor numérico de 5 (en kWh/m<sup>2</sup>), es igual al número de horas pico solar. Debe señalarse que esto último es sólo válido con las unidades aquí utilizadas y gracias al valor unitario de 1 kW/m<sup>2</sup>.

La irradiación es igual al producto de irradiación de referencia por las horas pico solar. Finalmente los valores numéricos de irradiación y horas pico solar son iguales.

$$(\text{kWh}/\text{m}^2) = 1(\text{kW}/\text{m}^2) \cdot \text{HPS} \quad \text{ecuación 3.2}$$

Dónde: HPS = número de horas de energía recibidas en una superficie determinada

Entonces, según la ecuación 3.2 los valores numéricos de la tabla 3.5 son igualmente válidos para las horas pico solar, ver tabla 3.6.

**Tabla 3.6 horas pico solar (HPS)**

ENE	FEB	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	MED
4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5

### 3.4 DISEÑO ELÉCTRICO

A continuación, se presenta la planta arquitectónica de la casa habitación. Se encuentran algunos aparatos eléctricos y electrónicos que la familia pueda necesitar de acuerdo a sus necesidades, a pesar de que se presenta un consumo estimado, se le dará un margen más amplio para considerar una posible expansión del hogar. En este hogar, se presenta como están ubicadas las habitaciones en la cual se localizan los requerimientos mínimos para que 3 personas vivan cómodamente con los servicios principales.

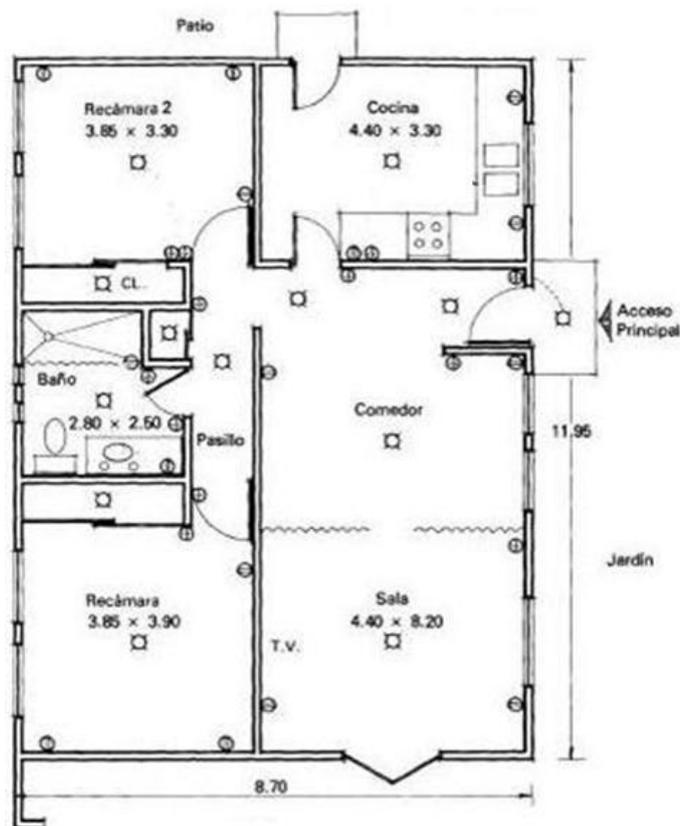


Figura 3.6 Vista superior del plano arquitectónico de la casa habitación. Acot: metros

El área de la construcción consta de 103.96m<sup>2</sup> en la cual, se planean instalar las celdas en el techo de la vivienda. Los patios y jardines dejarlos libres como lugar de juegos o posible expansión de equipo solar. Las dimensiones se ven en la siguiente tabla 3.7

**Tabla 3.7 Dimensionamiento de cada una de las habitaciones del hogar**

<b>AREA</b>	<b>DIMENSIONES</b>
Recamara 1	3.85 m X 3.90 m
Recamara 2	3.85 m X 3.90 m
Sala – comedor	4.40 m X 8.20 m
Cocina	4.40 m X 3.30 m
Baño	2.80 m X 2.50 m

### **3.4.1 INSTALACIONES DEL SERVICIO**

Cuando se han determinado los requerimientos de alambrado para una casa, las recomendaciones para las normas técnicas para las instalaciones eléctricas sirven como guía siempre y cuando se tengan en mente que lo especificado en estos documentos representan los requerimientos mínimos. Una buena instalación eléctrica puede requerir una mayor capacidad en los circuitos. La carga que se calcule debe representar toda la carga necesaria para alumbrado, aplicaciones diversas, es decir, contactos y otras cargas de alto consumo como bomba de agua, aire acondicionado, climas así como el reglamento para obra e instalaciones eléctricas pueden requerir una mayor capacidad en los circuitos. Este es el motivo por el cual vamos a incrementar al 100% la capacidad de carga para evitar deficiencias futuras en el suministro de energía.

### **3.4.2 CONSUMO ELÉCTRICO**

La potencia es la rapidez con que se consume o produce energía o, por analogía con la velocidad, es una cantidad de energía por unidad de tiempo, aunque esta unidad no aparezca explícita por ningún lado, tal como sucede con el nudo como unidad de velocidad

La unidad de potencia es el watt, cuyo símbolo es W, que equivale al consumo de un joule (símbolo J) en un segundo. Para que se tenga una mejor idea, 1 W es la potencia aproximada de un pequeño foco de linterna de bolsillo. Una potencia de 1 000 W es lo mismo que un kilowatt (1 kW).

Las cantidades de energía consumida o entregada se obtienen multiplicando la potencia del equipo por el tiempo durante el cual trabaja. Si la potencia se expresa en W y el tiempo en segundos, el producto (cantidad de energía) queda en J. De esta forma, un bombillo de 20 W que trabaja durante sesenta segundos debe consumir  $20 \text{ W} \times 60 \text{ s} = 1,200 \text{ J}$ .

Debido a que el joule es una cantidad muy pequeña para la mayoría de los casos prácticos, frecuentemente se usa una unidad que es de 3 600 000 veces mayor, que resulta de multiplicar la potencia en kW por el tiempo en horas, en lugar de segundos. Esta unidad recibe el nombre de kilowatt-hora o kWh (debe leerse así: kilowatthora y no kilowatt por hora).

$$\text{KWh} = \frac{P \cdot h}{1000}$$

*Ecuación 3.3*

Dónde:

P= potencia del aparato eléctrico o electrónico en watts

h= horas totales de uso aproximado al día.

Tabla 3.8 Consumo eléctrico teórico

Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas (h) día	consumo KWh
Luz recamara 1 LED	1	27	3	0.081
Luz recamara 2 LED	1	27	3	0.081
Luz cocina LED	1	27	1	0.027
Luz CL LED	1	27	0.5	0.0135
Luz bodega LED	1	27	0.0833	0.00225
Luz baño LED	1	27	1	0.027
Luz ropero LED	1	27	0.0833	0.00225
Luz comedor LED	1	27	3	0.081
Luz sala LED	1	27	3	0.081
Luz acceso LED	1	27	0.5	0.0135
Refrigerador sello FIDE	1	180	8	1.440
Lavadora	1	380	0.28	0.1064
T.V	1	120	1	0.120
Plancha	1	1000	0.28	0.280
DVD	1	30	0.28	0.0084
Licudora	1	450	0.0042	0.00189
Aparato de audio	1	30	1	0.030
Consumo energético teórico: $E_T$ (KW·h)				2.3962

Posteriormente a este valor se le agregara un 100% al valor total de la carga para evitar deficiencias de energía ya que al transcurso del tiempo se incrementa el número de aparatos eléctricos y electrónicos.

Por lo tanto:

$$E_T = 4.792 \text{KWh} \quad \text{resultado 3.1}$$

### 3.4.3 CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO REAL

El consumo energético es la cantidad de energía la cual el usuario puede hacer requerimiento en base a sus dispositivos eléctricos o electrónicos y sus necesidades sobre los mismos.

Se calculara el consumo energético real  $E(\text{KWh})$ . Partiendo del consumo energético teórico para solucionar diversos factores como son perdidas de la instalación y se calcula del siguiente modo.

$$E = \frac{E_T}{R} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde  $R$  es el parámetro de rendimiento global de la instalación definido como:

$$R = (1 - K_b - K_v - K_c) \cdot \left[ 1 - \frac{K_a \cdot N}{p_d} \right] \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Dónde:

- $K_b$ : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador:

0.05 En sistemas que no demandan cargas intensas

0.1 En sistemas con descargas profundas

- $K_c$ : Coeficiente de pérdidas en el regulador:

Debido a que el voltaje de los paneles solares es variable, se necesita un circuito regulador que mantenga el voltaje de Corriente Directa (CD) constante. Este circuito es un convertidor reductor de CD-CD en lazo cerrado, que tiene como voltaje de entrada las celdas solares y como voltaje de salida 12 V de CD; el control del circuito

permite que a pesar de que existan variaciones en la entrada el voltaje de salida del convertidor reductor se mantiene constante.

0.05 Para reguladores sinodales puros trabajando en régimen óptimo.

0.1 En otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo

- $K_v$ : Coeficiente de perdidas varias:

Agrupar otras perdidas como (efecto joule)

0.05 – 0.15 como valores de referencia

- $K_a$ : coeficiente de auto descarga diario:

0.002 Para baterías de baja auto descarga Níquel Cadmio (Ni-Cd)

0.005 Para acumuladores estacionarios de Plomo (Pb)- ácido

0.012 Baterías de alta auto descarga

- $N$ : número de días de autonomía de la instalación

Serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos) en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar. De 4 – 10 días de valores de referencia.

- $P_d$ : Profundidad de descarga diaria de la batería :

Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (Referida a la capacidad nominal del acumulador) ya que la eficiencia de esta crece en gran medida con ciclos de carga – descargas muy profundas.

Dadas las condiciones que en el sistema no hay otra fuente de energía eléctrica de respaldo se tomara el valor de:

$$K_b = 0.1$$

Se tomara el valor de 0.05 suponiendo que se trabajara en un régimen óptimo en el sistema.

$$K_c = 0.05$$

En el coeficiente de pérdidas se tomara el promedio de ambos valores que está determinado para las pérdidas el cual nos da como resultado:

$$K_v = 0.1$$

Se utilizaran acumuladores de alta autodescarga.

$$K_a = 0.012$$

Dado que en la localidad asignada para la instalación existen días en los cuales hay lluvia moderada se tomara el valor de 4.

$$N = 4$$

Se tomará un valor de 70% ya que el valor máximo no puede exceder del 80%

$$P_d = 0.7$$

Despejando los respectivos valores y sustituyendo los datos ya asignados de acuerdo a los requerimientos, R tomara el siguiente valor:

$$R = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.1) \cdot \left[ 1 - \frac{0.012 \cdot 4}{0.7} \right]$$

$$R = (0.75) \cdot (0.931)$$

$$R = 0.6986$$

*resultado 3.2*

Finalmente de la ecuación 3.4 determinamos el consumo energético real con los valores ya calculados del resultado 3.1 entre el resultado 3.2

$$E = \frac{4.792 \times 10^3}{0.6986} = 6.86 \text{KWh}$$

*resultado 3.3*

### **3.5 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE FOTOCELIDAS**

Los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente solo a las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de los principales parámetros del diseño.



**Figura 3.7 Diversidad en paneles**

En el mercado existen diferentes paneles solares de diversas potencias máximas 5,30, 50,75, 100, 120,150 165 según la demanda de energía que se precise. Ver figura 3.7

El mantenimiento es prácticamente nulo y los fabricantes garantizan los módulos por muchos años. La calidad de la mayoría de los módulos es sumamente alta ya que estos se desarrollan con la más alta calidad y tecnología.

Así mismo, hay paneles de diversas calidades según las celdas cristalinas de silicio semiconductor de las que estén formadas ya sean monocristalinas o poli cristalinas (ver capítulo 2)

A continuación se presenta la hoja de especificaciones de la celda fotovoltaica que fue seleccionada. Se ha elegido el más adecuado dado a su calidad y durabilidad. La elección del panel correcto se desarrolla de igual forma por los requerimientos de la instalación y sobre todo a la capacidad de potencia requerida para dicha instalación dado a su consumo.

Módulos fotovoltaicos | Hoja técnica

## Módulo Multicristalino de 120 W



### Módulo multicristalino con tecnología Thin Ribbon, modelo E-120.

Construido con materiales de la más alta calidad.  
Especialmente diseñado para sistemas aislados a baterías en configuraciones de 12 V a 48 V.  
Manufacturado en planta certificada ISO9001.  
Excelente desempeño en cualquier tipo de climas.

Los módulos multicristalinos serie E son unos de los más amigables con el medio ambiente que se puedan encontrar en el mercado. A diferencia de la construcción convencional en la producción de obleas en donde se requiere una gran cantidad de energía para su fabricación, las tecnologías de manufactura de las celdas de cinta delgada (thin ribbon) son mucho más eficientes y limpias para el medio ambiente.

#### Aplicaciones

Telecomunicaciones  
Bombeo de agua para agricultura, acuicultura o ganadería en general  
Sistemas de iluminación para cruces ferroviarios.  
Sistemas de desalinización

Electrificación de villas remotas.  
Cámaras de seguridad.  
Sensores remotos.  
Equipos de telemetría.  
Protección catódica de tuberías.

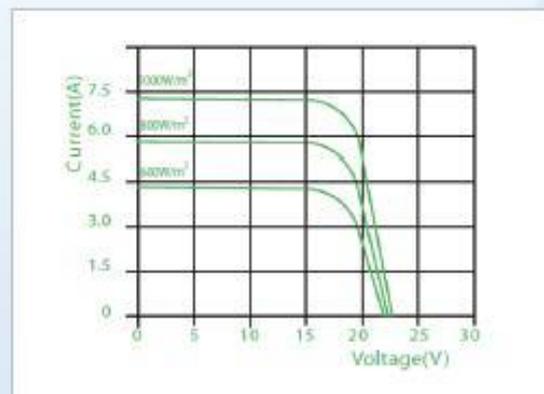


#### Parámetros eléctricos

Potencia Máxima	Pmax	120 W
Voltaje de máxima potencia	Vmp	18.1 V
Corriente de máxima potencia	Imp	6.64 A
Voltaje de circuito abierto	Voc	22.3 V
Corriente de corto circuito	Isc	7.26 A
Voltaje máximo del sistema		70 V
Coeficientes de temperatura:		
	Potencia	-0.43%/K
	Voltaje	-0.31%/K
	Corriente	+0.5%/K
Tolerancia máxima en potencia		+/- 5%

#### Parámetros mecánicos

Peso	15.5 kg
Dimensiones	1585 x 652 x 40.6 mm
Marco	Aluminio anodizado Claro >15 um



Dado que buscamos la mejor calidad en elementos a cuestión de durabilidad y eficiencia, seleccionaremos fotoceldas ThinRibbon E120. Este panel fotovoltaico es fácil encontrar en industrias distribuidoras mexicanas de material fotovoltaico, de igual forma, por la ventaja principal de su uso en su producción de energía constante, su larga vida y su mínimo mantenimiento.

Se anexa la hoja de especificaciones del panel necesario en la hoja de especificaciones 3.3

### 3.6 NÚMERO DE PANELES

El número de paneles fotovoltaicos (NP) se calculara del siguiente modo:

$$NP = \frac{E}{0.9 \cdot WP \cdot HPS} \quad \text{ecuación 3.6}$$

Dónde:

WP (W) =potencia pico de cada panel solar que en este caso serían (120 W)

E= consumo energético real 6.86KWh

HPS= hora pico solar

Como se puede ver en la tabla 3.6 los valores de las horas pico solar varían cada mes y la ocupación de la casa será ocupada todo el año

Calculamos el número de paneles necesarios de este intervalo de ocupación según la ecuación 3.6 obtendremos lo siguiente.

$$NP_{\text{Enero}} = \frac{6.86 \text{ KWh}}{0.9 \cdot 0.120 \text{ KW} \cdot 4.9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{6.86}{0.5292} = 12.93$$

$$NP_{\text{Diciembre}} = \frac{6.86 \text{ KWH}}{0.9 \cdot 0.120 \text{ KW} \cdot 4.4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = \frac{6.86}{0.4752} = 14.436$$

Se considerara, a efectos de diseño el valor más apropiado para satisfacer la demanda. Por lo tanto, el número de paneles que tomará será el valor de

NP=12 paneles fotovoltaicos ThinRibbon E120. *resultado 3.4*

Como comprobación del correcto funcionamiento adecuado de los paneles propuestos, calcularemos el factor de utilización ó cobertura solar del mes (Fi) de la instalación. Este factor es la relación entre la energía fotovoltaica disponible y la consumida.

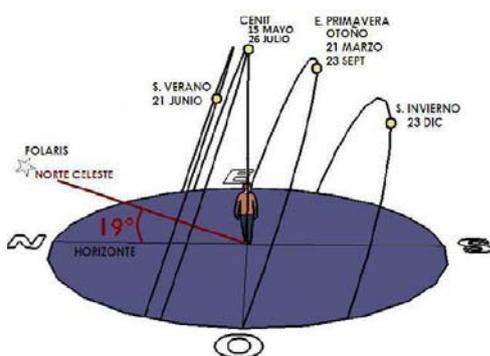
$$F_i = \frac{\text{Energía disponible}}{\text{energía consumida}} = \frac{NP \cdot 0.9 \cdot W_p \cdot HPS}{E} \quad \text{ecuación 3.7}$$

Los resultados obtenidos a partir de la ecuación 3.7 se muestran en la tabla 3.9. despejando los valores en cada mes.

**Tabla 3.9 Factor de utilización**

ENE	FEB	MAR	AB	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	Fi
0.92	1.04	1.17	1.21	1.15	1.07	1.09	1.09	0.98	0.94	0.88	0.83	1.03

Podemos comprobar que cumplimos plenamente con la demanda energética necesaria anual. Logrando un factor de cobertura poco mayor al 100% obteniendo un 103% para garantizar el abastecimiento óptimo.



**Figura 3.8 Trayecto solar**

La trayectoria del sol a lo largo del año no siempre es la misma en cualquier lugar del mundo. Si no que depende de la latitud donde se encuentre la dirección del objeto. Es decir, la inclinación del trayecto del sol cambiará de acuerdo la latitud. Se puede observar la trayectoria del sol a la latitud de 19° grados como en la ciudad de Puebla ver figura 3.8. Por ello, las celdas solares se dirigirán de este a oeste



En esta zona, en verano., el sol sale al noreste y en invierno al sureste. Cabe notar que en el hemisferio sur sucede lo contrario, en verano el sol sale al sureste y en invierno al noreste. Lo mismo sucede en el poniente. Es decir, que el movimiento del sol durante el día es distinto en diferentes épocas del año. Ver figura 3.9

Figura 3.9 Posición de las celdas

### 3.6.1 BASTIDOR DE ALUMINIO



Figura 3.10 Bastidor

El propósito del bastidor de aluminio básicamente es darle la posición deseada y la firmeza para establecerse en el lugar requerido para la mayor captación solar que se le asignará.

Hay de diferentes tipos en el mercado y con diferentes materiales. Ya que el aluminio es un material muy liviano y resistente al clima, se va a elegir Bastidor de aluminio para 3 módulos de 120 W a 230 W SBX3 de la marca conermex, ya que se llegó a un precio más accesible con el distribuidor gracias a la cantidad de elementos ver figura 3.10

### 3.7 BANCO DE BATERÍAS.



Figura 3.11 Banco de baterías

El banco de baterías; ver figura 3.11, es un conjunto de acumuladores de energía eléctrica los cuales se ocupan de almacenar y distribuir de una forma continua un suministro de energía. De igual forma, este banco puede utilizarse como energía de respaldo. No existe un suministrador, éste podría tener una interrupción en el suministro. En este caso, se utilizara para almacenar la energía acumulada en el momento que no se esté ocupando. Se calculará la capacidad de dicho banco (C) utilizando la ecuación 3.8

$$C = \frac{E \cdot N}{V \cdot P_d} \quad \text{ecuación 3.8}$$

Dónde:

$E$ = (Wh) de resultado 3.3

$N$ = número de días de autonomía de la instalación.

$V$ = es la tensión nominal del acumulador que es igual a 12V CD

$P_d$ = Profundidad de descarga diaria de la batería:

$$C = \frac{6.86 \times 10^3 \text{ Wh} \cdot 4}{12V \cdot 0.7} = \frac{27,440}{8.4} = 3,266.6 \text{ Ah} \quad \text{resultado 3.5}$$

Se tomara el valor normalizado inmediatamente superior al que resulte de este cálculo y se armaran las combinaciones serie-paralelo que resulten adecuadas para cada caso.

### 3.7.1 NÚMERO DE BATERÍAS REQUERIDO



Para poder determinar el número de baterías requerido en el sistema se puede usar una formula sencilla la cual consta de datos ya obtenidos en los cálculos anteriores.

(No es recomendable combinar baterías de distintas capacidades y modelos).

Se utilizaran únicamente baterías especializadas para celdas solares ver figura 3.12

**Figura 3.12** Acumulador de energía  
Banner Dry Bull DB 220 12V 220Ah

Se calculará el número de baterías requerido utilizando la ecuación 3.9

$$\text{No baterías} = \frac{C}{\text{Ah}_{\text{Bat}}} \quad \text{ecuación 3.9}$$

Dónde:

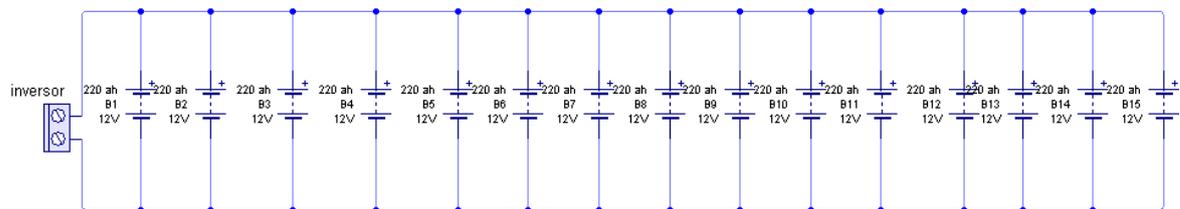
C = Total de amperios horas consumidos del resultado 3.5

$\text{Ah}_{\text{Bat}}$  = Amperios horas de la batería seleccionada.

Sustituyendo:

$$\text{No baterías} = \frac{3,266.6 \text{ Ah}}{220 \text{ Ah}} = 14.848 \sim 15 \quad \text{resultado 3.6}$$

Por lo tanto se utilizaran 15 baterías que se conectarán en paralelo. Ver figura 3.13



**Figura 3.13 Banco de baterías 220 Ah C/u**

El banco de baterías será un conjunto conectado en paralelo de 15 baterías. Cada una de 220 Ah para que en total sea de 3,300 Ah. El voltaje será el mismo gracias a la conexión en paralelo.

La interconexión de baterías en serie o en paralelo, requiere:

- a) Las baterías deben ser de las mismas características: misma edad, misma capacidad, mismo modelo, mismo voltaje.
- b) Los cables de interconexión deben ser de calibre adecuado, a fin de evitar las pérdidas de voltaje por uso de cables muy delgados.

c) Se debe prever adecuada ventilación entre batería y batería. Dejar por lo menos una luz entre ellas de un centímetro.

### **3.8 REGULADOR DE CARGA**

Son aparatos electrónicos que enlazan los paneles fotovoltaicos con las baterías. Tienen dos funciones por cumplir, una de ellas es evitar que la batería se descargue sobre los paneles fotovoltaicos; y la otra, es evitar que las propias baterías se sobrecarguen o descarguen más de lo necesario. Los reguladores de carga más modernos, cuentan con un microprocesador para realizar dichas tareas.

El funcionamiento es muy simple, el regulador de carga controla constantemente la tensión de la batería, cuando la batería alcanza el máximo de su capacidad, entonces, el regulador de carga interrumpe el proceso de carga. Existen dos tipos de reguladores de carga en el mercado:

- REGULADOR DE CARGA DE UNA ETAPA.

Solamente trabajan en una de las funciones descritas anteriormente. O bien controlan la carga o la descarga, nunca las dos. Son los más económicos y los más sencillos. Pero para una instalación de paneles solares no son los indicados.

- REGULADOR DE CARGA DE DOS ETAPAS.

Los modernos incorporan un microprocesador. Controlan las dos funciones, tanto la carga como la descarga de la batería.

Para calcular el regulador de carga se va a utilizar una formula, en la cual. Se requerirá la intensidad de corriente de corto circuito de cada panel, por el número de paneles en paralelo necesarios

$$I_{\max} = Np (I_{cc}) \quad \text{ecuación 3.10}$$

$$I_{\max} = 12(7.26) \text{ amp} = 87.12 \text{ amp} \quad \text{resultado 3.7}$$

Dónde:

$I_{cc}$  =intensidad de corto circuito de cada panel

Ya obtenido el resultado 3.7 se procederá a consultar el catálogo de productos solares ó tiendas de accesorios para energía solar las cuales nos da diversos resultados, estos se presentan a continuación

## LEO 20

Manual de Instalación v Operación

## LEO 20™ MODELO BÁSICO Regulador solar de carga

Manual de Operación y de Instalación.



### Descripción del Equipo:

El regulador LEO20 Básico se encuentra disponible en dos modalidades, bitensión 12/24V y 48V, con valores de trabajo de 100 Amperios de corriente continua. La familia de reguladores LEO incorporan un microcontrolador de última generación. Estos implementan un algoritmo de control capaz de adaptarse a las distintas situaciones diarias de una forma rápida y eficaz. Todo esto, junto con la conmutación de los relés de estado sólido y la utilización de un convertor analógico/digital de alta precisión (para realizar las lecturas de las señales), otorga a la familia de reguladores LEO un nivel de fiabilidad y prestaciones muy elevados. Los reguladores LEO realizan electrónicamente las tareas de mantenimiento de los acumuladores de manera automática, prolongando así su vida útil. El regulador LEO20 Básico permite configurar la salida de consumo como un controlador crepuscular de alumbrado. Por tanto, puede utilizar su regulador para controlar automáticamente la iluminación en las horas de noche. Los reguladores LEO incorporan un display de dos líneas y 16 caracteres donde se muestran de manera ordenada y clara los datos del sistema. Tenemos 87.12 amp lo cual un regulador de 100 amp podrá satisfacer nuestra demanda

### 3.9 INVERSOR

Un inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua (CC) a corriente alterna (CA) para alimentar una variedad de equipos ver figura 3.14. Cuando tiene energía suministrada por un servicio público, los inversores automáticamente pasan energía a su equipo mientras, al mismo tiempo, recargan las baterías conectadas. Cuando la energía de la red pública no está disponible, como durante un apagón en aplicaciones estacionarias o mientras conduce en aplicaciones móviles, los inversores automáticamente conmutan de la energía del servicio público a energía de respaldo de la batería.



Figura 3.14 Inversores

- CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL INVERSOR

Este ha de ser elegido teniendo en cuenta que ante la posible situación del funcionamiento simultáneo de todos los electrodomésticos existentes en la casa debe de ser capaz de proporcionar la potencia necesaria. Por ello, debemos estimar la potencia instantánea máxima que la instalación va a demandar. En este caso analizando la tabla 3.8 la potencia es de 2.3962 kW (2) que da un total de 4.792 kW

Ya obtenido el resultado, se procederá a consultar nuevamente el catálogo de productos solares. Buscando el inversor necesario de 5kW. Se a seleccionado el modelo de AIMS onda senoidal pura por su gran eficiencia y duración. De forma adicional se agrega otro inversor alternativo. El alternativo no se seleccionó al proyecto ya que su eficiencia es menor al anterior y el costo

Inversor de corriente 5,000W continuos  
**ONDA SINUIDAL PURA**



**Especificaciones:**

- Potencia de salida continua: 5000 vatios
- Aumento de capacidad de potencia(potencia máxima): 8000 Watts
- CCde entrada /alimentación:10 a 16,2voltios
- Tensión de salida: 120 voltios de corriente alterna
- Frecuencia de salida: 60 Hz + / -0,5Hz
- Eficiencia:86%
- Cierre de la batería de bajo voltaje: 9,7 a 10voltios
- Cierre de la batería de alto voltaje: 17 Volts
- Conector de salidaACTipo:4 110y 1conexión directa
- Entrada de alta protección de voltaje:17V
- La entrada baja tensión de cierre: 10 V
- De baja tensión de cierre se restableceen12 voltios=/-0,5voltios(se enciende automáticamente)
- Tamaño del producto(W xDxH): 23 x 8.25x 6.5pulgadas
- Peso: 35

### 3.10 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

A continuación, tabla 3.10 se presenta el resultado final de la cotización del proyecto. Se ha consultado individualmente cada dispositivo. Se han visualizado y seleccionado catálogos en empresas mexicanas y extranjeras. Finalmente se obtiene el análisis lo que da como resultado el precio final de \$ 78,113.7

**Tabla 3.10 Inversión del proyecto energético solar en una zona rural en México**

<i><b>Equipo o logística</b></i>	<i><b>Modelo Y / o marca</b></i>	<i><b>Cantidad</b></i>	<i><b>Precio unitario \$</b></i>	<i><b>Precio en conjunto \$</b></i>	<i><b>Importación</b></i>
Celda fotovoltaica multicristalina	Thin Ribbon E120, Conermex	12	300 USD+IVA 4,678.0	56,136.2	no
Acumulador de energía	DB 220 12V 220Ah, Banner	15	483.103	5,797.2	no
Regulador de carga	Básico LEO20	1	7,034.40 MX N	7,034.4	si
Inversor	Inversor sinoidal, AIMS	1	989.9	989.9	no
Soporte para 3 módulos 120W	Conermex	4	131 USD+IVA 2,039.01	8,156.0	no
<b>Inversión Neta</b>				<b>78,113.7</b>	

El consumo energético de este hogar es de 145.69 kWh bimestral. Si se estimó el consumo energético teórico del hogar y se compara con el consumo de una zona urbana en cualquier parte de México de una clase media baja, se llega a la conclusión de que el consumo de una casa es similar.

El promedio de consumo en el DF de una vivienda está entre 100 a 350 kWh Por bimestre. La facturación de consumo eléctrico con estos consumos fluctúa de: 90 a 500 pesos. Si analizamos la facturación eléctrica de esta vivienda por parte del suministrador eléctrico CFE nos da un total de **\$ 393.98** Si pagamos esta cantidad cada **dos meses** a CFE durante **33.1 años** se liquidaría el precio del proyecto. Ahora: si se le plantea al cliente que invierta en el proyecto de generación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas e incrementamos el periodo de pago anualmente y la cantidad monetaria, nos da una cifra considerable que al cliente le sea más cómodo liquidar: \$ 15,622.7 anuales durante 5 años.

En el artículo 1º de la ley del servicio público de energía eléctrica nos indica que en dado caso de generar energía eléctrica, como particular, no es posible venderla a quien lo necesite. Ya que únicamente corresponde a la Nación generar y transmitir la venta del energético.

Con el paso del tiempo, las líneas de transmisión de CFE cruzaran San Miguel Tenextatiloyan y podrán suministrar energía eléctrica a dicha localidad.

Afortunadamente CFE brinda una bonificación eléctrica a usuarios que generan su propia energía. Esto se realiza con una conexión en paralelo del abastecimiento solar de la casa habitación y la misma acometida de la CFE. Finalmente, un medidor bidireccional se encarga de registrar los kW que fueron suministrados a la red de CFE y los que fueron utilizados por el hogar, lo cual, al suministrarle a CFE energía, ésta, nos es acumulada para que cuando sea necesario hacer una suspensión del suministro solar se nos retribuya dicha energía sin costo alguno.

### Emisiones

La energía solar tiene una clara ventaja sobre la generación de electricidad tradicional, en su efecto sobre el medio ambiente. La mayoría de la energía proviene de la combustión del carbón que produce una gran cantidad de dióxido de carbono en el proceso.

“La Agencia de Protección Ambiental calcula que a partir de datos de la Administración de Información Energética, la familia promedio se utiliza 350 kilowattshora de electricidad al bimestre, lo que genera 1,233.52 Kg de dióxido de carbono por año, por lo que esta familia dejara de producir aproximadamente menos de 1.5 toneladas de dióxido de carbono al año”.<sup>3</sup>

**Factores de emisión de electricidad promedio [ton CO<sub>2</sub>eq/kWh]**

Año	Factor de emisión de electricidad promedio [ton CO <sub>2</sub> eq/kWh]
2000	604.3
2001	618.8
2002	604.6
2003	608.0
2004	548.4
2005	555.7
2006	528.3
2007	520.8
2008	469.8°
2009	505.7
2010	494.6

<sup>3</sup> Folleto Corporativo / Technological capacity, Instituto de Investigaciones Eléctricas

### Subsidio

El subsidio que aporta el gobierno federal para la compra de gasolinas y diesel en México ascenderá a 170 mil millones de pesos a lo largo del año, informó la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

“Para 2012, el apoyo a las gasolinas y el diésel se estima que, de materializarse la proyección de precios internacionales de los mercados de futuros y manteniendo el desliz gradual, ascenderá a cerca de 170 mil millones de pesos”, detalló la dependencia. Expuso que el subsidio es mayor a la proyección que se programó en la Ley de Ingresos de la Federación para 2011, donde se contabilizaron 34 mil millones de pesos.

Sin embargo, no existe ningún tipo de subsidio para fortalecer la generación de energías alternativas. De esta manera, se pretende fomentar el uso de recursos renovables como es la solar. En zonas rurales como Chiapas ó Oaxaca se puede implementar enérgicamente el uso de instalación de celdas fotovoltaicas como suministro de energía para abastecer los servicios en hospitales en zonas lejanas.

“irradiación global media inclinación a latitud en México en kWh/m<sup>2</sup>-Día”<sup>4</sup>

Estado	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max
<b>Aguascalientes</b>	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4	4	7.2
<b>Baja California Sur</b>	4.4	5.5	6	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6
<b>Baja California</b>	4.1	4.4	5	5.6	6.6	7.3	7	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3
<b>Baja California</b>	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1
<b>Baja California Sur</b>	5	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3
<b>Campeche</b>	4.8	5.7	6	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5	4.3	4.4	6
<b>Chiapas</b>	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9
<b>Chiapas</b>	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1
<b>Chiapas</b>	4	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4
<b>Chiapas</b>	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4
<b>Chiapas</b>	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4
<b>Chihuahua</b>	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6	5.2	5.3	8.9
<b>Chihuahua</b>	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9
<b>Chihuahua</b>	6	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4
<b>Coahuila</b>	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7
<b>Coahuila</b>	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9
<b>Colima</b>	4.4	5.1	5.3	5.8	6	5.2	4.9	5	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6
<b>D.F.</b>	5.4	6	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4
<b>Durango</b>	4.4	5.4	6.5	7	7.5	6.8	6	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5

<b>Guanajuato</b>	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6	6	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6
<b>Guerrero</b>	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5	4.7	4.7	6.1
<b>Guerrero</b>	5.8	5.9	6	5.8	5.8	5.4	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6
<b>Guerrero</b>	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2
<b>Hidalgo</b>	4.6	5.1	5.6	6.8	6	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8
<b>Jalisco</b>	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2
<b>Jalisco</b>	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4	4	7.7
<b>Jalisco</b>	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5	4.7	4	4	7.2
<b>Jalisco</b>	5.2	5.7	6	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6
<b>México</b>	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9
<b>Michoacán</b>	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9
<b>Nayarit</b>	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4	4.8	3.9	6.1
<b>Nuevo León</b>	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5	3.8	3.3	3	3	6.1
<b>Oaxaca</b>	4.9	5.7	5.8	5.5	6	5.4	5.9	5.6	5	4.9	4.8	4.4	4.4	6
<b>Oaxaca</b>	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5	6.6
<b>Puebla</b>	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5	4.7	4.4	4.4	6.4
<b>Querétaro</b>	5	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5	4.4	4.4	6.9
<b>Quintana Roo</b>	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5	4.5	4.4	4	3.7	3.7	5.7
<b>Quintana Roo</b>	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4	3.8	3.8	5.7
<b>San Luis Potosí</b>	3.6	4	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8
<b>San Luis Potosí</b>	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4
<b>Sinaloa</b>	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2

<b>Sinaloa</b>	4.9	5.4	5.8	5.9	5.8	5.8	5.3	5.5	5.5	5.8	4.9	4.3	4.3	5.9
<b>Sinaloa</b>	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5	4.5	3.9	3.9	5.7
<b>Sonora</b>	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.7	6.4	6.5	6.8	7.3	6	5.2	5.3	7.26
<b>Sonora</b>	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3
<b>Sonora</b>	4	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6	4.7	3.9	3.9	8.6
<b>Tamaulipas</b>	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4
<b>Tamaulipas</b>	3.3	4.1	4.7	6.4	5	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4
<b>Tlaxcala</b>	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4	4	5.6
<b>Veracruz</b>	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6
<b>Veracruz</b>	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5	4.4	3.7	3.3	3	3	5
<b>Veracruz</b>	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1
<b>Yucatán</b>	3.7	4	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7
<b>Yucatán</b>	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5	5	4.4	4	4	5.5
<b>Yucatán</b>	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7
<b>Zacatecas</b>	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8

---

<sup>4</sup> Reportes de insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMS

Boylestad, Neshelsky  
ELECTRÓNICA: TEORÍA DE CIRCUITOS Y DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.  
Pearson Prentice hall, octava edición

José María Fernández Salgado  
COMPENDIO DE ENERGÍA SOLAR: FOTOVOLTAICA, TÉRMICA Y  
TERMOELÉCTRICA.  
Mundi-prensa

Eva Esteire, Ana Madrid y Antonio Madrid  
ENERGÍAS RENOVABLES. MANUAL TÉCNICO.  
Editor

Plasencia Valero, Job,  
UNA MIRADA AL UNIVERSO: ASTRONOMÍA BÁSICA ELEMENTAL  
Editorial Tébar, S.L., 1ª ed

John s. Duncan  
ESTRELLAS Y PLANETAS  
Parragon, 2008

Gaceta UNAM  
7 noviembre 2011  
Página 9

<http://www.conermex.com.mx>

<http://www.conae.gob.mx>

<http://www.fide.org.mx>