

# FUENTES ALTERNAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

## (SOLAR, EÓLICA)

De las fuentes alternas de generación de energía tenemos:

 SOLAR

 EÓLICA

### 3.1 Energía Solar.

La energía solar es sin duda alguna la fuente de prácticamente toda la vida en el planeta Tierra y es la responsable de todos los ciclos de la naturaleza, la responsable del clima, del movimiento del viento, del agua y del crecimiento de las plantas.

Todas las energías renovables tienen como base el poder del Sol: la energía solar, la energía hidroeléctrica, la energía eólica, la biomasa e incluso la de las olas y las corrientes marinas.

### 3.2 El sol.

El Sol es el elemento más importante en nuestro sistema planetario. Es el objeto más grande y contiene aproximadamente el 98% de la masa total del sistema solar. Es una masa de materia gaseosa caliente que irradia en su capa exterior visible, llamada fotosfera una temperatura de 6,000°C (11,000°F). Esta capa tiene una apariencia manchada debido a las turbulentas erupciones de energía en la superficie. Se encuentra a 149 450 000 km de distancia de la Tierra; nuestra estrella tiene un diámetro de 1 391 000 km y tiene una masa de  $2 \times 10^{30}$  kg.

La energía solar se crea en su interior. Es aquí donde la temperatura alcanza 15, 000,000° C (27, 000,000° F) y la presión es 340 mil millones de veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar, son tan intensas que se llevan a cabo las reacciones nucleares. Estas reacciones son de fusión nuclear. En este tipo de reacciones se unen los núcleos de átomos ligeros, como el hidrógeno y el

helio, para formar átomos más pesados y en el proceso se liberan grandes cantidades de energía; la energía que recibimos del Sol es, por lo tanto, de origen nuclear. Dos núcleos de deuterio (isótopo del hidrógeno) se fusionan y transforman en helio; los núcleos de helio, en carbono, y así sucesivamente hasta constituir elementos cada vez más pesados.

Actualmente, el Sol está compuesto de 73.46% de hidrógeno y 24.85% de helio (el resto son elementos más pesados).

Durante las reacciones nucleares, parte de la masa de las partículas que intervienen se convierte en energía, la cual se puede calcular empleando la fórmula de Einstein.

$$E=mc^2$$

Dónde:

E : equivale a la energía

m: es la masa

c: es la velocidad de la luz en el vacío 300 000 km/s

De esta forma, el Sol irradia la energía proveniente de la fusión de los núcleos atómicos que lo componen y como lo hace en todas direcciones, una parte nos llega a la Tierra. El Sol existe desde hace 4 600 millones de años y se cree que seguirá viviendo durante un periodo similar; por lo tanto, para cualquier fin práctico, el Sol es una fuente inagotable de energía.

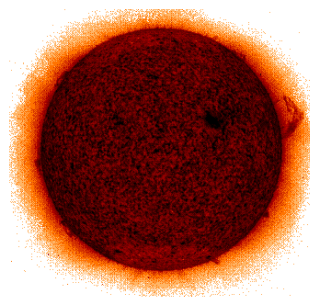


Figura 3.1. El sol.

### 3.3 Radiación Solar.

La radiación que emite el Sol en todas direcciones, producto de las reacciones nucleares, corresponde a una parte del llamado espectro electromagnético. Cada cuerpo, según sus características intrínsecas, emite un patrón de radiación electromagnética (una forma de radiación característica) que puede identificarse en el espectro electromagnético.

La luz, sea ésta de origen solar o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, que están agrupadas dentro de un cierto rango, llamado espectro luminoso. Las ondas de baja frecuencia del espectro solar (infrarrojo) proporcionan calor, las de alta frecuencia (ultravioleta) hacen posible el proceso de fotosíntesis o el bronceado de la piel. Entre esos dos extremos están las frecuencias que forman la parte visible de la luz solar. La intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia.

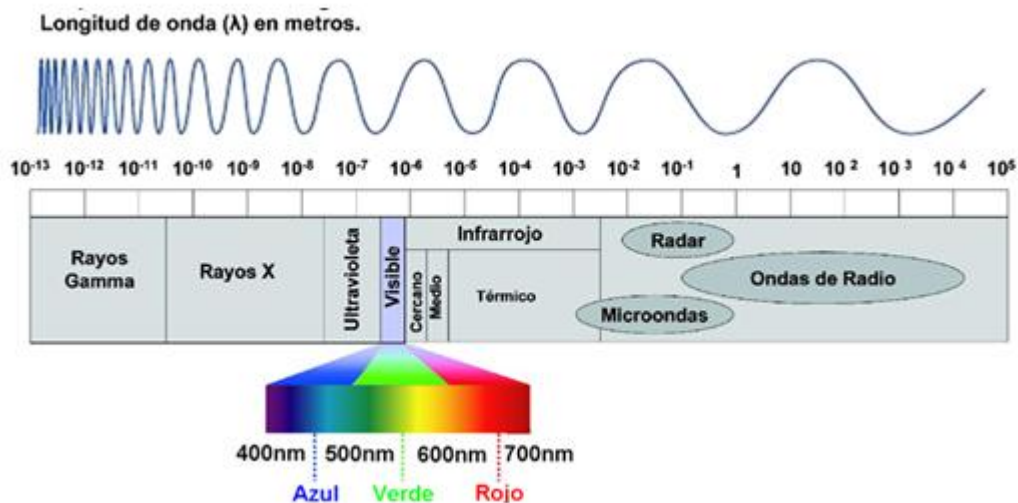


Figura 3.2. Espectro electromagnético.

El proceso fotovoltaico responde a un limitado rango de frecuencias dentro del espectro visible, de manera que es importante definir el espectro de radiación de la fuente luminosa que se utiliza para evaluar la celda fotovoltaica. Esto se hace especificando un parámetro denominado Masa de Aire.

### 3.4 Masa de aire.

La posición relativa del Sol respecto a la horizontal del lugar determina el valor de la masa de aire. Cuando los rayos solares caen formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la horizontal, se dice que el sol ha alcanzado su zenit. Para esta posición la radiación directa del Sol atraviesa una distancia mínima a través de la atmósfera. Cuando el Sol está más cercano al horizonte, esta distancia se incrementa, es decir, la “masa de aire” es mayor.

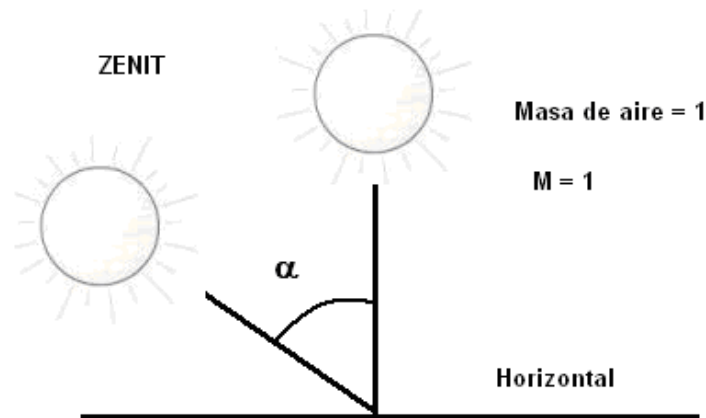


Figura 3.3. Masa de aire.

A la posición del zenit se le asigna una masa de aire igual a 1 ( $M_1$ ). Cualquier otra distancia tendrá una masa de aire que puede calcularse usando la expresión:

$$\text{Masa de Aire} = 1 / \cos\alpha$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo formado entre la posición de zenit y la posición del Sol en ese momento, y  $\cos\alpha$  es el valor del coseno de ese ángulo, el que varía entre 1 y 0 cuando el ángulo varía entre  $0$  y  $90^\circ$ . Para valores de  $\alpha$  mayores que cero, el valor del  $\cos\alpha$  es siempre menor que la unidad, de manera que el valor de la masa de aire se incrementa. Valores para la masa de aire mayores que la unidad indican que la radiación directa debe atravesar una distancia mayor dentro de la atmósfera. El ángulo de inclinación respecto a la posición del zenit (vertical) puede ser calculado de la expresión anterior.

### 3.5 Insolación.







La cantidad total de radiación solar (directa y reflejada) que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de  $1 \text{ m}^2$ , para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar, recibe el nombre de insolación.

La insolación es medida en horas de luz solar efectivas. Una hora máxima ó 100% de luz solar, recibida por una fotocelda equivale a una hora de sol efectivo. Aun y estando el Sol arriba del horizonte, por ejemplo, 14 horas en un día, este sitio solamente recibirá 6 horas de sol efectivo.

Esto se debe al concepto de masa de aire, es debido al ángulo  $\alpha$  y la cantidad de atmósfera que tiene que atravesar la luz del Sol. Cuando el Sol se encuentra exactamente encima de las fotoceldas, su luz atraviesa la cantidad más pequeña de atmósfera.

En las mañanas y en las tardes la luz del Sol atraviesa una mayor cantidad de atmósfera debido a su posición en el cielo. Debido a estos factores nuestras horas más efectivas de luz del Sol son de las 9:00 am. a 3:00 pm. Antes y después de estas horas, se está recibiendo energía pero a niveles menores.

### 3.6 Usos posibles de la energía solar.

-  Calefacción doméstica
-  Calentamiento de agua
-  Generación de energía
-  Fotosíntesis
-  Hornos solares
-  Evaporación

Se han ensayado todos los usos citados de la energía solar en escala de laboratorio, pero no se han llevado a la escala industrial.

En muchos casos, el costo de la realización de estas operaciones con energía solar no pueden competir con el costo cuando se usan otras fuentes de energía por la gran inversión inicial que es necesaria para que funcionen con energía solar y por ello la mayor parte de los estudios de los problemas de utilización de esta energía está relacionado con problemas económicos.

### 3.7 Celdas Solares.

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten la energía solar en energía eléctrica, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

Cuando un fotón con energía suficiente choca con un átomo de algún material, por ejemplo el silicio, el átomo absorbe la energía del fotón y un electrón del material queda en un estado excitado por la energía absorbida, lo que permite, en algunos casos, que se mueva libremente. Si en lugar de uno son varios los electrones que circulan libremente, puede producirse una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones y, por lo tanto, generarse energía eléctrica a partir de energía solar.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil. El material más utilizado en la fabricación de celdas solares es el silicio. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Introduciendo pequeñas cantidades de otros elementos químicos (dopaje), permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando zonas con diferentes tipos de carga.

El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura, donde las planchas se colocan en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Hay muchos otros métodos de dopar el silicio.

Un átomo del silicio tiene 4 electrones de valencia (aquellos más débilmente unidos), que enlazan a los átomos adyacentes. Substituyendo un átomo del silicio por un átomo que tenga 3 o 5 electrones de valencia producirá un espacio sin un electrón (un agujero) o un electrón extra que pueda moverse más libremente que los otros, ésta es la base del envenenamiento. En el doping tipo p, la creación de agujeros, es alcanzada mediante la incorporación en el silicio de átomos con 3 electrones de valencia, generalmente se utiliza boro. En el dopaje de tipo n, la creación de electrones adicionales es alcanzada incorporando un átomo con 5 electrones de valencia, generalmente fósforo.

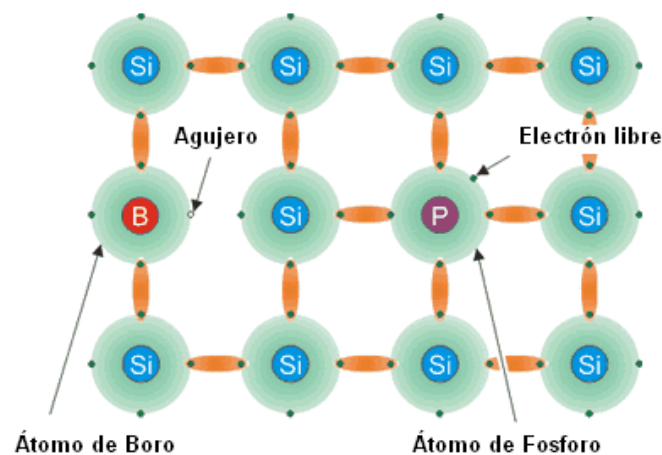


Figura 3.4. Dopaje.

La celda fotovoltaica utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P.

### 3.8 Canal N y P.

Cuando la sustancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un exceso de cargas negativas (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo).

Cuando la sustancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona predominan las cargas positivas (holes, en inglés) obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo).

### 3.9 Juntura N-P.

El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación, en el mismo material, de dos zonas semiconductoras adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición. La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja a la zona de la juntura totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de potencial eléctrico que impide la continuación del desplazamiento inicial.

La corriente de desplazamiento se anula. Se dice entonces que la juntura N-P ha alcanzado el estado de equilibrio, el que es ilustrado en la figura. 3.5

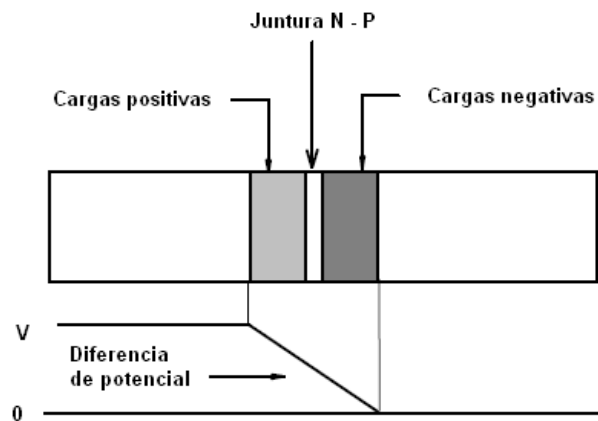


Figura 3.5. Juntura N-P.

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos. Si los terminales de la celda fotovoltaica son conectados a un resistor eléctrico, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la celda, los cables de conexión y el resistor externo.



La figura 3.6 muestra este tipo de circuito. Sólo una parte del espectro luminoso puede llevar a cabo la acción descrita.

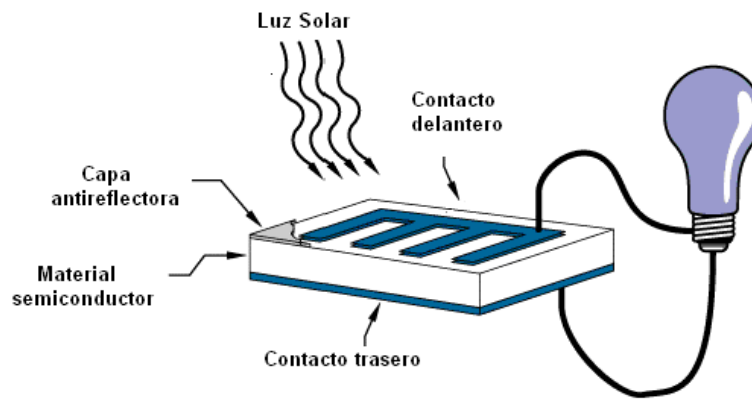


Figura 3.6

### 3.10 Características eléctricas de la celda fotovoltaica.

El voltaje de salida por celda fotovoltaica es de corriente directa (CD). Por lo tanto, los electrones se mueven del polo negativo hacia el polo positivo por fuera de la celda. Para celdas de silicio, este voltaje está alrededor de 0.5 V y 1 V. La corriente de salida por celda fotovoltaica está entre 10 y 40 mA.

Potencia eléctrica por celda fotovoltaica. En un instante la potencia eléctrica proporcionada por la celda fotovoltaica está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida. Este valor es afectado por el comportamiento intrínseco de un material semiconductor, por el nivel de irradiación y el método de fabricación de la celda. La intensidad luminosa depende, como vimos al tratar la insolación, de los factores meteorológicos, locación, inclinación de la celda respecto a la horizontal, y las variaciones estacionales en el lugar de utilización. La fuente luminosa usada para medir la potencia de salida de un panel fotovoltaico tiene un espectro luminoso correspondiente a una masa de 1,5 (M1, 5), el que ha sido adoptado como estándar, la intensidad es muy cercana a  $1\text{kW/m}^2$ .

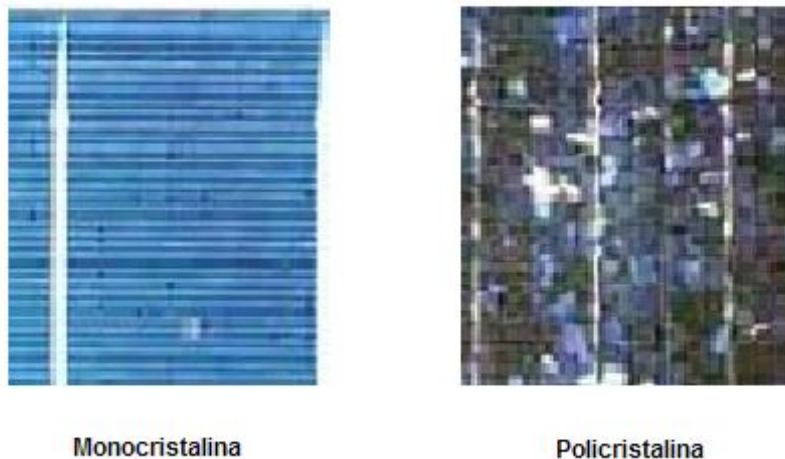
Los valores de potencia, voltaje y corriente pico, así como los valores del voltaje a circuito abierto y corriente de cortocircuito del panel forman parte de la información eléctrica. Esta es

complementada con notas aclaratorias al pie de página, cuya función es especificar las condiciones usadas durante la evaluación de un determinado parámetro. Muchos fabricantes incorporan información sobre las curvas I-V para diferentes temperaturas de trabajo, así como para distintos niveles de radiación. Si esta información no le satisface, escribiendo al fabricante o distribuidor del producto le permitirá obtener más información, o mayor detalle.

### 3.11 Tipos de celdas fotovoltaicas.

Las celdas fotovoltaicas que ofrece el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura monocristalina uniforme, el otro una estructura policristalina. El tipo monocristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que insume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor. La versión policristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina no es uniforme, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales).

Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo diferente. La figura 3.7 muestra esta diferencia.



**Monocristalina**

**Policristalina**

Figura 3.7 Celdas monocristalina y policristalina

### **Celdas fotovoltaicas amorfas.**

Algunos paneles fotovoltaicos no tienen celdas independientes conectadas entre sí, sino una estructura semiconductor que ha sido depositada, en forma continua, sobre una base metálica laminar. Este proceso permite la fabricación de un panel fotovoltaico flexible, el que puede adaptarse a superficies que no son completamente planas. La superficie activa de estos paneles no tiene una estructura cristalina, y por ello se la denomina amorfa.

La tecnología amorfa es comúnmente utilizada en los paneles solares pequeños, como en las calculadoras y lámparas de jardín, aunque cada vez son más usadas para paneles de mayor tamaño, son conocidas también como THIN FILM. Están conformadas de una película de Silicón depositada sobre otra lámina de materiales como el acero.

El panel se forma de una sola pieza y las celdas individuales no son tan visibles como en otro tipo de paneles.

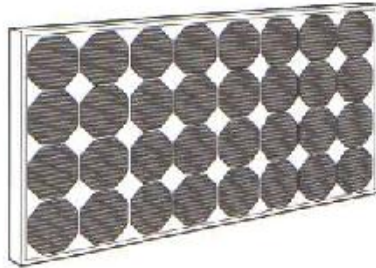


Figura 3.8 Panel fotovoltaico rígido.



Figura 3.9 Panel fotovoltaico flexible.

La eficiencia de los paneles solares de celdas amorfas no es tan alta como la de aquellos paneles conformados por celdas solares individuales.

La única ventaja de este tipo de celdas es que permiten su aplicación en paneles flexibles y que son más económicas de fabricar.

Eficiencia de la celda.	
Monocristalina:	12-15 %
Policristalina:	11-14 %
Amorfa:	6-7 %

Tabla 3.1 Eficiencia de las diferentes celdas.

### 3.12 Arreglos de celdas fotovoltaicas.

Como cada celda genera corrientes entre 10 y 40 mA por  $\text{cm}^2$  y voltajes de 0.5 a 1 volt, se tienen que unir varias celdas en serie o en paralelo, para formar paneles con potencias de 2 a 60 watts-pico que sean útiles para satisfacer diferentes necesidades de energía eléctrica; éstos deben estar cubiertos para evitar el deterioro. Mediante la unión de varios paneles puede abarcarse un área adecuada para satisfacer cierta demanda y, al igual que en los colectores planos, las celdas deben orientarse hacia el sur, con una inclinación adecuada.

Por ejemplo, si se quiere tener una potencia de 100 watts, se requerirían 120 V (volts) y 0.8 A (amperes). Para ello, se necesitaría un panel que tuviera 300 celdas solares en serie ( $0.5 \times 240 = 120$  V) y 20 celdas solares colocadas en paralelo ( $0.040 \times 20 = 0.8$  A).

### 3.13 Ventajas de la energía solar.

- ✚ Es energía no contaminante.
- ✚ Proviene de una fuente de energía “inagotable”.
- ✚ Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (campo, islas), o es dificultoso y costoso su traslado (conviene a más de 5 km).
- ✚ Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento.
- ✚ El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando (el costo de los combustibles aumenta con el paso del tiempo porque cada vez hay menos).

### 3.14 Desventajas de la energía solar.

- ✚ El nivel de radiación fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra.
- ✚ Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- ✚ Requiere gran inversión inicial.
- ✚ Los lugares donde hay mayor radiación son lugares desérticos y alejados.

### 3.15 Energía Eólica.

Se entiende por energía eólica a la obtenida por el viento, es decir, la energía cinética generada por las corrientes de aire. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Esta energía es inagotable, no contamina; y aunque la instalación de uno de estos aparatos es relativamente costosa, a la larga se sentirán los resultados positivos, especialmente en el campo económico.

### 3.16 El viento.

La parte más interior de la atmósfera se denomina troposfera. La troposfera tiene alrededor de 10 km de altura y está formada por aire. Hay más aire cerca de la Tierra que más lejos de ella.

Desde 8 hasta 10 km de la Tierra hay tan poco oxígeno en el aire que la gente tendría problemas para respirar.

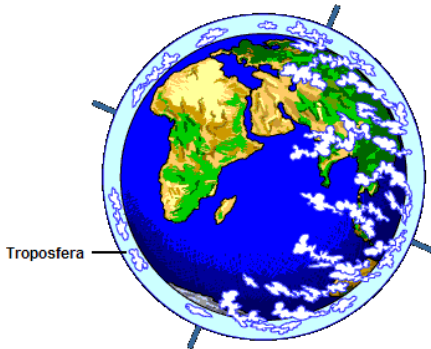


Figura 3. 10 Troposfera.

La causa principal por la que se forma el viento es:

EL viento es el hecho de que el Sol no calienta la Tierra de modo uniforme. Las diferencias de temperatura conducen a la circulación de aire. Los rayos de sol cubren un área mucho mayor en los polos que en el ecuador. El aire caliente se eleva desde el ecuador y flota hacia los polos. Esto deja espacio para que los vientos fríos del norte y del sur soplen hacia el ecuador. Las regiones alrededor del ecuador, de latitud  $0^\circ$ , son calentadas por el Sol más que el resto del planeta. El aire caliente es más ligero que el aire frío y se separará en dos corrientes, una se dirige hacia el norte y otra al sur. Si el globo no rotara, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al polo sur, bajaría, y volvería al ecuador.

### 3.17 Sistema conversor Eólico.

Un sistema conversor de energía eólica es aquel que transforma la energía cinética en formas útiles para las actividades humanas. Se compone de tres partes principales:

- ✚ El rotor, que convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio en la flecha principal del sistema.
- ✚ Un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación de acuerdo con el tipo de aplicación.

- ✚ Aplicación para cada caso, es decir, si se trata de bombeo de agua el sistema se denomina aerobomba, si acciona un dispositivo mecánico se denomina aeromotor y si se trata de un generador eléctrico se denomina aerogenerador.

### 3.18 Aerogenerador.

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina eólica que es accionada por el viento. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Los aerogeneradores, tienen diversas aplicaciones específicas, ya sea eléctricas o de bombeo de agua, mediante el aprovechamiento y transformación de energía eólica en energía mecánica.

Se definen en general a los aerogeneradores según la posición de su eje de rotación, con relación a la direcciones del viento.

- ✚ Aeromotores de eje horizontal.
- ✚ Con el eje paralelo a la dirección del viento.
- ✚ Con el eje perpendicular a la dirección del viento.
- ✚ Aeromotores de eje vertical.
- ✚ Aeromotores que utilizan el desplazamiento de un móvil.

### 3.19 Turbinas Eólicas.

Una turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía del viento en electricidad. La electricidad generada se puede almacenar en baterías, o utilizar directamente.

La potencia del viento depende principalmente de 3 factores:

- ✚ Área donde circula el viento (rotor)
- ✚ Densidad del aire
- ✚ Velocidad del viento

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Donde  $\rho$  = (rho) = densidad del aire seco = medida en  $\text{kg/m}^3$

La cantidad de la potencia (P) ejercida por el viento es proporcional al cubo de su velocidad (v).

### 3.20 Partes de un aerogenerador.

- 1.
2. Cimientos.
3. Conexión a la red eléctrica.
4. Torre.
5. Escalera de acceso.
6. Sistema de orientación.
7. Góndola.
8. Generador.
9. Anemómetro.
10. Freno.
11. Caja de cambios.
12. Aspas.
13. Inclinación de aspa.
14. Rueda de rotor.

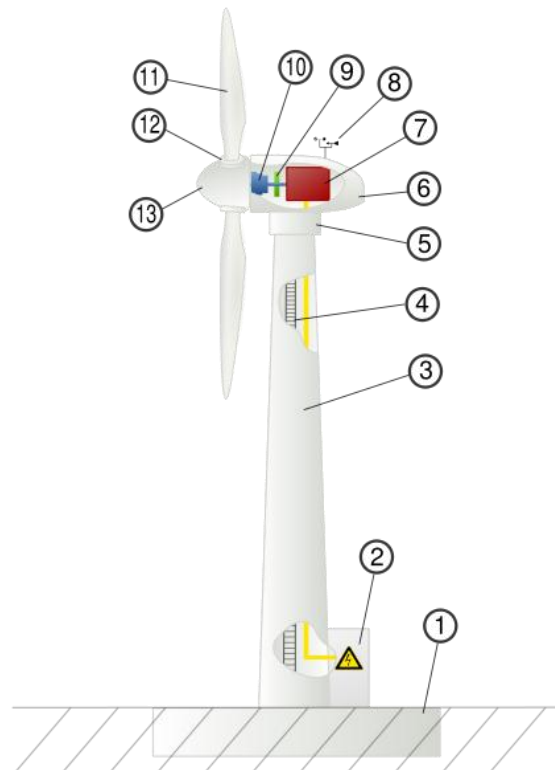


Figura 3.11 Aerogenerador.



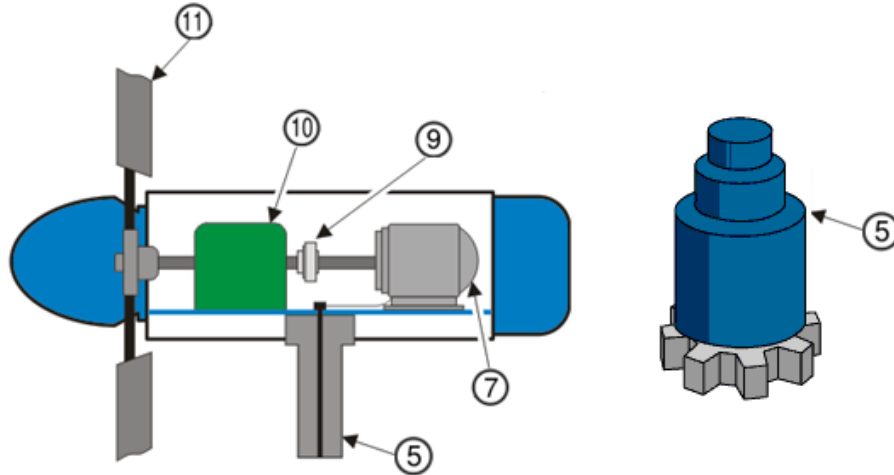


Figura 3.12 Componentes de un Aerogenerador.

Los elementos principales de cualquier turbina eólica son el rotor, una caja de cambios, un generador, equipo del control, monitorización y la torre.

- ✚ Góndola, es el soporte donde se encuentra el generador, sistema de frenado, sistema de orientación, equipos auxiliares (hidráulico), caja de cambio, etc. Protege a estos equipos del ambiente y sirve, a su vez, de aislante acústico.
- ✚ El buje, pieza metálica de fundición que conecta las aspas al eje de transmisión.
- ✚ Aspas, cuya misión es la de absorber energía del viento; el rendimiento del aerogenerador depende de la geometría de las palas.
- ✚ Rotor, es el conjunto de aspas, las aspas del rotor se diseñan para que giren con el viento, moviendo el generador de la turbina. Las turbinas del viento modernas de gran escala típicamente se equipan de rotores de tres palas.
- ✚ Caja de cambios, en esta se encuentran los engranajes que se utilizan para aumentar la frecuencia para la producción eléctrica.
- ✚ Generador, es quien genera la energía eléctrica cuando hay suficiente viento como para rotar las paletas. La energía se transfiere a la siguiente etapa usando el cableado (para el almacenaje, envío a la red o para el uso directo).
- ✚ Motor de orientación. El rotor siempre debe encararse al viento para que el aerogenerador obtenga tanta energía como sea posible. El motor de orientación gira la góndola de forma que el rotor se orienta en la dirección del viento. Justo debajo del

motor de orientación hay una pequeña rueda que engrana en la rueda de la corona de orientación.

- ✚ Freno mecánico, un aerogenerador tiene dos tipos de freno diferentes. Uno es el freno en punta de pala. El otro es un freno mecánico. El freno mecánico se sitúa en el eje pequeño, el rápido, entre la multiplicadora y el generador. Sólo se utiliza como freno de emergencia, en caso de que el freno en punta de pala falle. También se utiliza cuando el aerogenerador está siendo reparado, para eliminar cualquier riesgo de que la turbina se ponga en marcha de repente.
- ✚ Controlador. El aerogenerador está controlado por varios ordenadores que vigilan muchas cosas diferentes. Al conjunto de estos ordenadores se le denomina sistema de control del aerogenerador. Al ordenador principal se le llama controlador. Cada vez que debe producirse un cambio en los ajustes de la turbina, es el controlador quien se ocupa de hacerlo. El controlador siempre vigila si todo en el aerogenerador funciona o no como debiera.
- ✚ Anemómetro. El anemómetro mide la velocidad del viento y avisa al controlador del aerogenerador cuando hace el viento suficiente para que resulte rentable utilizar energía para hacer girar al aerogenerador (orientarlo) hacia el viento y empezar a funcionar. Es importante saber cuánto viento hay. Si el viento es demasiado fuerte el aerogenerador puede romperse. Cuando el viento cae, el anemómetro le dice al controlador que O.K., que puede conectar la turbina de nuevo.
- ✚ Los cimientos, generalmente constituidos por hormigón en tierra, sobre el cual se atornilla la torre del aerogenerador.
- ✚ La torre, eleva el montaje de las turbinas sobre las corrientes de aire turbulentas cerca de la tierra y permite capturar un viento de mayor velocidad. Los cimientos y la torre son los encargados de transmitir las cargas al suelo.
- ✚ El diseño de torre es particularmente crítico, pues deben ser tan altas como sea económicamente posible (generalmente entre 40 y 100 metros), también deben ser robustas, permitir el acceso a la turbina para su mantenimiento, pero no agregar costo innecesario al sistema. Un aspecto particularmente importante del diseño de torres es la eliminación de la resonancia entre la gama de frecuencias de las paletas que rotan y la frecuencia de resonancia de la torre.

- ✚ Orientación, mantiene el rotor cara al viento, minimizando los cambios de dirección del rotor con los cambios de dirección de viento. Estos cambios de dirección provocan pérdidas de rendimiento y genera grandes esfuerzos con los cambios de velocidad.

Una instalación eólica a gran escala, llamada granja eólica o parque eólico, consiste en una colección de estas turbinas. Hay dos factores principales que hay que considerar al momento de realizar un emplazamiento de turbinas eólicas. Estos son la localización donde se ubicarán las turbinas y el otro es la altura que tendrán las torres.

### 3.21 Localización.

Las estimaciones exactas de la velocidad del viento son críticas al momento de evaluar el potencial de la energía eólica en cualquier localización. Los recursos eólicos son caracterizados por una escala de clases de viento según su velocidad, que se extiende de la clase 1 (la más baja) a la clase 7 (la más alta).

Clase	A 30 m de altura		A 50 m de altura	
	Velocidad del viento m/s	Potencia del viento W/m <sup>2</sup>	Velocidad del viento m/s	Potencia del viento W/m <sup>2</sup>
1	0-5.1	0-160	0-5.6	0-200
2	5.1-5.9	160-240	5.6-6.4	200-300
3	5.9-6.5	240-320	6.4-7.0	300-400
4	6.5-7.0	320-400	7.0-7.5	400-500
5	7.0-7.4	400-480	7.5-8.0	500-600
6	7.4-8.2	480-640	8.0-8.8	600-800
7	8.2-11.0	640-1600	8.8-11.9	800-2000

Tabla 3.2. Clasificación de recursos eólicos.

Mientras que las características técnicas del viento en una localización específica son muy importantes, muchos otros factores también contribuyen en la decisión del emplazamiento. Una

localización alejada de la red de distribución eléctrica puede llegar a ser poco rentable, pues se requerirán nuevas líneas de transmisión para conectar la granja eólica con la red. La infraestructura de transmisión existente puede llegar a necesitar una ampliación para poder manejar la fuente de energía adicional.

Las condiciones del suelo y del terreno deben ser convenientes para la construcción de las fundaciones de las torres. Finalmente, la elección de una localización puede estar limitada por regulaciones sobre el uso de la tierra y la capacidad de obtener los permisos requeridos de las autoridades locales, regionales y nacionales.

### 3.22 Altura de un aerogenerador.

La altura de la torre afecta la cantidad de potencia que se puede obtener del viento con una turbina dada, así como las tensiones sobre el rotor. A una altura de un kilómetro sobre la superficie, las velocidades del viento no son influenciadas por el terreno que se encuentra debajo. El viento se mueve más lentamente cuanto más baja sea la altura, con la máxima reducción de velocidad del viento situada muy cerca de la superficie. Este fenómeno, conocido como esquileo del viento, es un factor determinante al momento de tomar la decisión sobre la altura de la torre, puesto que a mayor altura los rotores se exponen a vientos más rápidos. Además, las diferencias en la velocidad del viento entre la parte superior y la inferior del rotor disminuyen a mayores alturas, causando menor desgaste en la turbina.

En la práctica las turbinas eólicas se diseñan para trabajar dentro de ciertas velocidades del viento. La velocidad más baja, llamada velocidad de corte inferior que es generalmente de 4 a 5 m/s, pues por debajo de esta velocidad no hay suficiente energía como para superar las pérdidas del sistema. La velocidad de corte superior es determinada por la capacidad de una máquina en particular de soportar fuertes vientos.

La velocidad nominal es la velocidad del viento a la cual una máquina particular alcanza su máxima potencia nominal. Por arriba de esta velocidad, se puede contar con mecanismos que mantengan la potencia de salida en un valor constante con el aumento de la velocidad del viento.

### 3.23 Ventajas de la Energía Eólica.

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales.

El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación, etc. Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación, etc.

Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón. Reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes: desastres con petroleros (traslados de residuos nucleares, etc.). No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: Canalizaciones a las refinerías o las centrales de gas.

La utilización de la energía eólica para la generación de energía eléctrica presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce contaminante alguno que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras.

Al contrario de lo que puede ocurrir con las energías convencionales, la energía eólica no produce tipo alguno de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La generación de energía eléctrica a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

Cada kWh de energía generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:

- ✚ 0.60 kg de CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono.
- ✚ 1.33 g de SO<sub>2</sub>, dióxido de azufre.
- ✚ 1.67 g de NO<sub>x</sub>, óxido de nitrógeno.

La energía producida por un aerogenerador evita que se quemem diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 kg de petróleo. Al no quemarse esos kg de carbón, se evita la emisión de 4.109 kg de CO<sub>2</sub>, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 kg de dióxido de azufre - SO<sub>2</sub>- y de 10 kg de óxido de nitrógeno -NO<sub>x</sub>- principales causantes de la lluvia ácida.

### 3.24 Desventajas de la Energía Eólica.

El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.

Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.

Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es más acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad, y siempre que estemos muy próximos a los molinos.

También debe tenerse cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo de mortandad al impactar con las aspas, aunque existen soluciones al

respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los molinos adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.