



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGON

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
A TRAVES DE LA FUERZA DEL VIENTO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: MECANICA

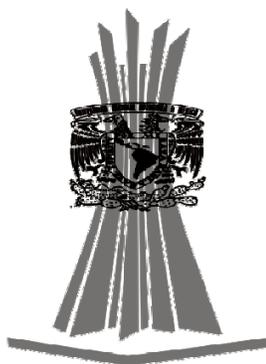
P R E S E N T A:

CESAR GUTIÉRREZ LIY

ASESOR: ING. JORGE ANTONIO RODRIGUEZ LUNA

MEXICO

2011.





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.

# ÍNDICE

| TEMA  | PAGINA |
|---|--------|
| Introducción.....                                     | 1      |
| Objetivo.....   | 3      |
| Capítulo I. El viento. Una visión general.....        | 4      |
| 1 Aire.....   | 5      |
| 1.1 Propiedades del aire.....                         | 5      |
| 1.1.1 Propiedades físicas y químicas del aire.....    | 7      |
| 1.1.2 Composición del aire puro.....                  | 7      |
| 1.2 El viento.....                                    | 8      |
| 1.2.1 Historia del uso del viento.....                | 9      |
| 1.3 Los primeros molinos de viento.....               | 9      |
| 1.4 Los actuales molinos de viento.....               | 13     |
| 1.4.1 ¿Cómo funcionan los molinos de viento?.....     | 15     |
| 1.5 Origen del viento.....                            | 16     |
| 1.6 Clases de viento.....                             | 17     |
| 1.7 Clasificación del viento según su intensidad..... | 18     |
| 1.8 La dirección del viento.....                      | 19     |
| 1.9 Velocidades de los vientos.....                   | 19     |
| 1.10 Escalas de vientos: variación horizontal.....    | 21     |
| 1.11 Leyes y clasificación de los vientos.....        | 24     |
| 1.12 Principales acciones que producen viento.....    | 24     |
| 1.13 Cálculo de la potencia.....                      | 25     |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.14  | La rugosidad.....  | 28 |
|       | Capítulo II .Características geográficas para el<br>aprovechamiento del viento. Tecnología eólica..... | 29 |
| 2.1   | Métodos de aprovechamiento del viento.....   | 30 |
| 2.2   | Valoración y caracterización del viento.....   | 31 |
| 2.3   | Zonas de emplazamientos y su clasificación.....  | 32 |
| 2.3.1 | Zonas de emplazamiento clase I.....  | 33 |
| 2.3.2 | Zonas de emplazamiento clase II.....   | 33 |
| 2.4   | Clases de emplazamientos.....  | 34 |
| 2.5   | Ejemplos de emplazamientos peligrosos.....   | 35 |
| 2.6   | ¿Cómo se puede saber su velocidad?.....  | 36 |
| 2.7   | Dirección de acuerdo a la orientación y variabilidad.....  | 38 |
| 2.8   | Información necesaria para evaluar el uso de la energía<br>eólica.....                                 | 39 |
| 2.8.1 | Datos Metereológicos requeridos.....   | 40 |
| 2.9   | Estimación de la energía eólica.....   | 44 |
| 2.10  | Relaciones generales entre viabilidad y velocidad de viento<br>para su uso como fuente de energía..... | 42 |
| 2.11  | Tratado de Kyoto.....  | 45 |
| 2.12  | Tecnología eólica.....   | 47 |
| 2.13  | Instalaciones que utilizan energía eólica.....   | 48 |
|       | Capítulo III. Procesos de generación de electricidad a través de<br>energía eólica.....                | 52 |
| 3.1   | Generación de electricidad.....  | 54 |
| 3.2   | Generadores.....   | 54 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.3    | Central eléctrica.....  | 55 |
| 3.4    | Centrales eólicas.....  | 56 |
| 3.5    | Generadores eléctricos, aerogeneradores.....                            | 57 |
| 3.5.1  | Clasificación de las máquinas eólicas.....                              | 58 |
| 3.5.2  | Partes de un aerogenerador.....   | 59 |
| 3.6    | Aerogenerador de eje vertical.....                                      | 62 |
| 3.6.1  | Aerogenerador de eje horizontal.....                                    | 63 |
| 3.7    | Principio de funcionamiento.....  | 64 |
| 3.8    | Sistemas de control de velocidad.....                                   | 67 |
| 3.9    | Sistemas de control aerodinámico.....                                   | 67 |
| 3.10   | Sistemas de control mecánico.....                                       | 68 |
| 3.11   | Sistemas de control eléctrico.....                                      | 68 |
| 3.12   | La Ley de Metz y la máxima eficiencia de conversión.....                | 70 |
| 3.13   | La necesidad de la energía eólica.....                                  | 72 |
| 3.14   | Las desventajas de la energía eólica.....                               | 72 |
| 3.15   | Generación de electricidad con la fuerza de viento.....                 | 73 |
| 3.16   | Instalaciones remotas o aisladas.....                                   | 74 |
| 3.17   | Convertidor de corriente directa (C.D.) a corriente alterna (C.A.)..... | 76 |
| 3.17.1 | Funcionamiento de un convertidor de CD/CA.....                          | 77 |
| 3.18   | El alternador.....  | 78 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.18.1 | Rotor del alternador.....  | 80  |
| 3.19   | Control de corriente de campo.....   | 80  |
| 3.20   | Energía eólica en México.....  | 81  |
| 3.20.1 | La rumorosa II.....  | 81  |
| 3.20.2 | Parque de Frenosa en Oaxaca.....   | 82  |
| 3.20.3 | Parques eólicos en San Luis Potosí.....  | 82  |
| 3.20.4 | Iberdrola con dos proyectos adicionales.....   | 83  |
| 3.21   | Comisión Federal de Electricidad.....  | 83  |
| 3.22   | Futuro eólico en la región del Istmo de Tehuantepec.....                                   | 85  |
| 3.22.1 | Aspectos favorables del proyecto eólico.....   | 86  |
|        | Capítulo IV Usos y aplicaciones de la energía eólica.....                                  | 89  |
| 4.1    | Aplicaciones de la energía eólica.....   | 91  |
| 4.2    | Sistemas híbridos o mixtos.....  | 92  |
| 4.3    | Futuras tecnologías en la generación de electricidad<br>utilizando la fuerza del aire..... | 96  |
| 4.3.1  | Aerogenerador de levitación magnética.....   | 96  |
| 4.3.2  | Funcionamiento.....  | 97  |
| 4.4    | Aeroelasticidad para generar energía eléctrica.....  | 97  |
| 4.4.1  | Funcionamiento.....  | 98  |
| 4.5    | Molino magnético.....  | 99  |
| 4.5.1  | Funcionamiento.....  | 100 |

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 4.6 | Prototipo Windside..... | 101 |
|     | Conclusiones.....       | 102 |
|     | Glosario.....           | 104 |
|     | Bibliografía.....       | 107 |

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente a la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por la oportunidad que recibí en esta institución y sin duda, gracias a todos los maestros que contribuyeron realmente en mi formación y a los que me apoyaron ofreciéndome su amistad y sus vivencias.

Hace poco mas de cinco años mi vida cambio por completo, con altas y bajas, hemos salido juntos, ha sido un poco difícil, pero he aprendido que la felicidad es gratis y el hogar es el mejor lugar para ello, gracias amor por esos años conmigo y por lo que hemos formado y Dios nos ha dado, para mi linda esposa Jaqueline.

Espero que esto sea un motivo para que ustedes mis niñas sigan adelante, esto va con dedicación para Harumi y Zoe, que sea un ejemplo en su vida y en su formación, las amo.

Deseo agradecer profundamente a mis padres, a mi mamá ELENA LIY GALVEZ que siempre estuvo en toda mi formación como persona, como ser humano y como estudiante, mil gracias mamá por todos esos desvelos, por todas las atenciones, por lo que me has dado y me das, gracias.

Para ese gran hombre que nunca se da por vencido, para ese guerrero que no se dobla, que me enseña día a día que la vida se pelea se busca, que me da tranquilidad, a ese amigo de toda mi vida que siempre ha estado en las buenas y en las malas, gracias por tus palabras de aliento en los momentos mas importantes, sobre todo por no perder la confianza en mí, gracias papá JUAN GUTIERREZ CHAVEZ. Esto es el reflejo de todo lo que has hecho, gracias

## INTRODUCCIÓN

La producción y transformación artificial de energía distingue a la especie humana de las restantes especies vivas y ha sido una constante desde épocas pretéritas para lograr en primer lugar unas condiciones de vida más confortables y posteriormente para facilitar los desplazamientos y producir masivamente bienes en la industria.

Como consecuencia de la creciente demanda, la generación de energía es responsable de un agotamiento de algunas materias primas esenciales no renovables (combustibles fósiles principalmente), de una buena parte de la modificación de las condiciones ambientales (gases que provocan el efecto invernadero, contaminación de la atmósfera que a su vez provocan daños a la salud) y de la generación de un volumen considerable de residuos, algunos de ellos de difícil gestión (como el aceite de los carros que prácticamente no tiene ningún uso después de ser utilizado y el número incontable de neumáticos que difícilmente son aprovechados después de su uso), aunque actualmente ya existen empresas que están viendo la manera de reciclar dichos materiales no biodegradables.

De esta forma se cierne sobre el planeta el fantasma del cambio climático debido a los gases de efecto invernadero. Estos gases producen un sobrecalentamiento de la atmósfera, similar al producido por las plantas en un invernadero real. Está previsto que las emisiones de dióxido de carbono, aumenten en un 50 % entre 2009 y 2030. Es esencial para evitar cumplir esta predicción incrementar la eficiencia energética, detener la deforestación y plantar más árboles.

La utilización inmediata de las energías limpias son la clave para detener el cambio climático, debido a que no inciden en el calentamiento global. Como ejemplo de estas fuentes de energía está la energía nuclear, limpia, pero insegura, como ha quedado demostrado con las explosiones en la década de los ochenta de las centrales nucleares de Chernobyl Ucrania y en la Isla “Tres Millas” (Pensilvania USA), con saldos trágicos de miles de muertos, actualmente con los sismos de Japón

Quizás en un futuro no muy lejano podrá haber o no haber petróleo, en el caso de que hubiese, existirá en pocas cantidades pero como este combustible ha ido dañando al planeta será restringido su uso, pues difícilmente se seguirá utilizando este tipo de combustibles para la generación de energía ya que utilizarlos sería ir acabando aun más con el planeta.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía limpia. Por la gran demanda que el hombre tiene como consumidor, se están dando pasos

agigantados con el desarrollo de estas.

El aumento de la población mundial y el previsible crecimiento económico, especialmente en zonas poco desarrolladas del planeta, aseguran que la demanda de energía y de otras materias primas no energéticas continuará aumentando en las próximas décadas, con la consiguiente producción de residuos. Todos estos factores seguirán afectando negativamente al entorno natural y harán difícil la consecución de los objetivos de un desarrollo sostenible. La mejora de la eficacia de los métodos de producción de energía y de transformación de materias primas. Por eso es necesaria la introducción de nuevas tecnologías para la producción de energía que actúen en la misma dirección, ya que estos son los instrumentos que pueden contribuir de forma eficaz a aproximarse a los objetivos de sustentabilidad, o, al menos, a reducir la velocidad de deterioro de los recursos naturales y del medio ambiente.

## OBJETIVO

El tema de la electricidad y de cómo se genera ésta, es algo muy común y, al parecer no es desconocido para el grueso de la gente.

Pero lo que la gente desconoce totalmente es que la concentración de gases provoca un efecto sobre la tierra llamado “efecto invernadero” en la atmósfera, esto es provocado por el hombre y ha alcanzado ya niveles tan altos que el sistema climático que se ha desequilibrado. La concentración de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ha aumentado la temperatura del mundo debido a la quema de combustibles fósiles y la generación de gases (metano), por la altísima concentración de desechos sólidos y biomasa de “nuestra basura”. La temperatura en el planeta ha aumentado aceleradamente en los últimos 50 años y subirán aun más rápido en las próximas décadas. Esto se suma a multitud de desequilibrios ecológicos, cuyo impacto pone en peligro las vidas y medios de subsistencia de los pueblos del mundo, y en particular de las personas desfavorecidas y otros grupos vulnerables.

El siguiente trabajo lo que pretende es hacer énfasis a la generación de electricidad usando el viento como fuente natural de energía, dejando atrás las formas tradicionales de generar electricidad, como la termoeléctrica, nucleoelectrica y carboeléctrica, ya que dentro de algunos años el petróleo único combustible que ha solventado al hombre prácticamente desde que comenzó la revolución industrial se terminará por la quema irracional de éste ya que el gran numero de habitantes en el planeta que cada día necesitan mas energías que consumir para satisfacer sus necesidades diarias.

# **CAPÍTULO I**

## **EL VIENTO. UNA VISIÓN GENERAL**

El viento es aire en movimiento. Hay aire por todas partes, pero no lo puedes ver. Sin embargo, puedes ver cómo se mecen de un lado a otro los árboles y el pasto cuando sopla el viento. Puedes sentir el aire que corre por tu cara y por tu cuerpo. Sopla sobre tu mano. Siente el aire moverse.

El aire caliente se eleva, mientras que el aire frío baja cerca del suelo. ¿Ha visto hojas secas flotar y elevarse por el aire? Esto muestra que el aire caliente sube. Párese enfrente del refrigerador. Ahora abre la puerta del congelador. Coloca tu mano cerca de la parte de abajo de la puerta y sentirás el aire frío. El aire frío "cae" hacia el suelo.

El aire tiene presión. Infla un globo (esto hace que aumente la presión del aire dentro del globo). Ahora suéltalo. El aire sale rápidamente (porque la presión del aire dentro del globo es mayor que la presión del aire que hay afuera). El viento se produce debido a los cambios de presión que ocurren alrededor del mundo.

El viento hace que volar cometas (papalotes) y aviones pequeños sea muy divertido. Pero el viento también puede ser algo muy peligroso y capaz de destruir los bienes de las personas. El viento empuja los barcos a través del agua. Pero también puede acarrear tormentas de nieve.

## **1. AIRE**

El aire es una mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la Tierra por la acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta, es particularmente delicado y está compuesto en proporciones ligeramente variables por sustancias tales como el nitrógeno (78%), oxígeno (21%), vapor de agua (variable entre 0-7%), ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y algunos gases nobles como el criptón o el argón, es decir, 1% de otras sustancias.

### **1.1 PROPIEDADES DEL AIRE**

La atmósfera terrestre se divide en capas de acuerdo a la altitud, temperatura y composición del aire, estas capas son: exosfera, troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera y termosfera, como se muestra en la figura 1. La presión o peso del aire disminuye con la altitud.

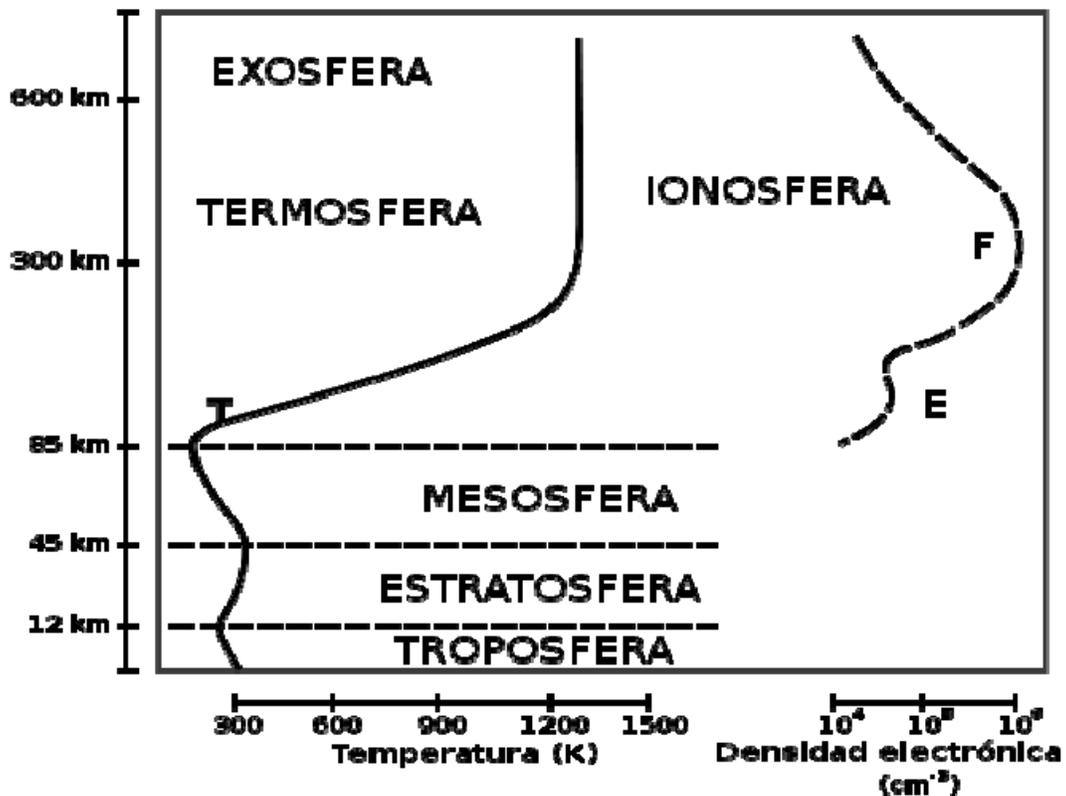


Figura 1.1 Atmósfera de la tierra

Las capas más importantes para el análisis de la contaminación atmosférica son las dos capas más cercanas a la Tierra: la troposfera y la estratosfera. El aire de la troposfera es el que interviene en la respiración y está compuesto, aproximadamente, por un 78,08% de nitrógeno (N<sub>2</sub>), un 20,94% de oxígeno (O<sub>2</sub>), un 0,035% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y un 0,93% de gases inertes como el argón y el neón. En esta capa, de 7 Km. de altura en los polos y de 16 Km. en los trópicos, se encuentran las nubes y casi todo el vapor de agua. En esta capa se producen todos los fenómenos atmosféricos que originan el clima. Más arriba, aproximadamente a 25 kilómetros de altura, en la estratosfera, se encuentra la importante capa de ozono que protege a la Tierra de los rayos ultravioleta (UV).

En términos generales, un contaminante es una sustancia que está "fuera de lugar", y que un buen ejemplo de ello puede ser el caso del gas ozono (O<sub>3</sub>). Cuando este gas se encuentra en el aire que se respira, es decir, bajo los 25 kilómetros de altura habituales, es un contaminante que tiene un efecto dañino para la salud, por lo que en esa circunstancia se le conoce como "ozono troposférico u ozono contaminado". Sin embargo, el mismo gas, cuando está en la estratosfera, forma la capa que protege de los rayos ultravioletas del Sol a todas las formas de vida en la Tierra, por lo cual se le identifica como "ozono limpio".

## 1.1.1 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL AIRE

### Propiedades Físicas

- Es de menor peso que el agua.
- Es de menor densidad que el agua.
- Tiene Volumen indefinido.
- No existe en el vacío.
- Es incoloro, inodoro e insípido.
- Tiene Masa y esta compuesta por: Gas nitrógeno (N<sub>2</sub>) en un 78 % aproximadamente de masa molar 28 gramos por mol. Y gas oxígeno (O<sub>2</sub>) en un 21 % aproximadamente de masa molar 32 gramos por cada mol.
- Tiene densidad, es de 1,18 Kg. /m<sup>3</sup> (a 25 °C)
- Tiene viscosidad, es de 0,018 cP (a 20 °C)

### Propiedades Químicas

- Reacciona con la temperatura condensándose en hielo a bajas temperaturas y produce corrientes de aire.
- Esta compuesto por varios elementos entre ellos el oxígeno (O<sub>2</sub>) y el dióxido de carbono elementos básicos para la vida.

## 1.1.2 COMPOSICION DEL AIRE PURO

De acuerdo con la altitud, composición, temperatura y otras características, la atmósfera que rodea a la Tierra y comprende las siguientes capas o regiones:

**1. Troposfera.** Alcanza una altura media de 12 km. (es de 7km. En los polos y de 16km. En los trópicos) y en ella encontramos, junto con el aire, polvo, humo y vapor de agua, entre otros componentes.

**2. Estratosfera.** Zona bastante mente fría que se extiende de los 12 a los 50km de altura; en su capa superior (entre los 20 y los 50km) contiene gran cantidad de ozono (O<sub>3</sub>), el cual es de enorme importancia para la vida en la tierra por que absorbe la mayor parte de los rayos ultravioleta del sol.

**3. Mesosfera.** Zona que se sitúa entre los 50 y los 100km de altitud; su temperatura media es de 10 °C; en ella los meteoritos adquieren altas temperaturas y en su gran mayoría se volatilizan y consumen.

**4. Ionosfera.** Empieza después de los 100km. Y va desapareciendo gradualmente hasta los 500km de altura. En esta región, constituida por oxígeno (O<sub>2</sub>), la temperatura aumenta hasta los 1000°C; los rayos X y ultravioleta del Sol ionizan el aire enrarecido,

produciendo átomos y moléculas cargados eléctricamente (que reciben el nombre de iones) y electrones libres.

**5. Exosfera.** Comienza a 500km. de altura y extiende más allá de los 1000km; está formada por una capa de helio y otra de hidrogeno. Después de esa capa se halla una enorme banda de radiaciones (conocida como magnetosfera) que se extiende hasta unos 55000km de altura , aunque no constituye propiamente un estrato atmosférico.

El aire limpio y puro forma una capa de aproximadamente 500 000 millones de toneladas que rodea la Tierra, de las su composición se muestra en la tabla 1.1:

**Tabla 1.1. Composición del aire limpio y puro.**

| Componente         |                    | Concentración aproximada |
|--------------------|--------------------|--------------------------|
| Nitrógeno          | (N)                | 78.03% en volumen        |
| Oxígeno            | (O)                | 20.99% en volumen        |
| Dióxido de Carbono | (CO <sub>2</sub> ) | 0.03% en volumen         |
| Argón              | (Ar)               | 0.94% en volumen         |
| Neón               | (Ne)               | 0.00123% en volumen      |
| Helio              | (He)               | 0.0004% en volumen       |
| Criptón            | (Kr)               | 0.00005% en volumen      |
| Xenón              | (Xe)               | 0.000006% en volumen     |
| Hidrógeno          | (H)                | 0.01% en volumen         |
| Metano             | (CH <sub>4</sub> ) | 0.0002% en volumen       |
| Óxido nitroso      | (N <sub>2</sub> O) | 0.00005% en volumen      |
| Vapor de Agua      | (H <sub>2</sub> O) | Variable                 |
| Ozono              | (O <sub>3</sub> )  | Variable                 |
| Partículas         |                    | Variable                 |

## 1.2 EL VIENTO

El viento es aire que se mueve de un lugar a otro, bien sea de una ligera brisa o de un fuerte huracán. Tiene una procedencia directa de la energía solar. El calentamiento desigual de la superficie de la tierra produce zonas de altas y bajas presiones, este desequilibrio provoca desplazamientos del aire que rodea la tierra dando lugar al viento. Además, en verano y durante el día, el sol calienta el aire sobre la tierra firme

más que el que está sobre el mar. El aire continental se expande y eleva, disminuyendo así la presión sobre el terreno, provocando que el viento sople desde el mar hacia las costas. Lo contrario ocurre durante la noche, especialmente en invierno, donde la tierra se enfría más rápidamente que el mar.

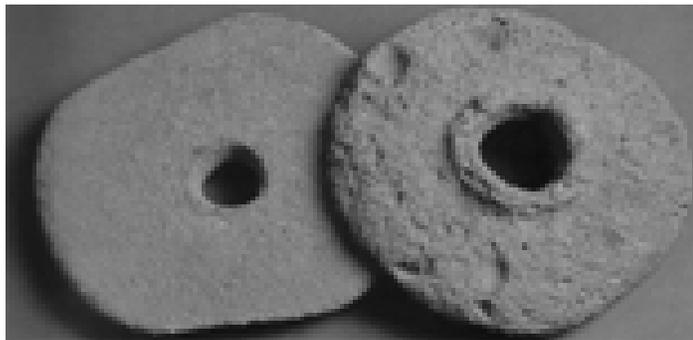
### **1.2.1 HISTORIA DEL USO DEL VIENTO**

Las culturas más antiguas aprovechaban su fuerza para desplazarse, mediante el uso de las velas en los barcos. De todos es sabido, la importancia del comercio en las culturas sumerias y egipcias, que se desarrollaba en el curso de los ríos Tigris, Éufrates y Nilo.

### **1.3 LOS PRIMEROS MOLINOS DE VIENTO.**

Desde el Neolítico hasta la Edad Media, durante más de 4.000 años, sólo se usó el molino de mano para convertir el cereal en harina. En todos los casos se usaba una piedra fija como base. Existían 2 técnicas para la molienda. En el primer caso el grano se convertía en polvo mediante el frotamiento con otra piedra. En el segundo a base de golpes de una piedra contra la otra.

Con el tiempo se construyeron molinos manuales giratorios, de pequeño tamaño. En este caso una piedra redonda giraba sobre otra que permanecía fija. Los primeros molinos de este tipo tenían unas hendiduras en la piedra superior para que esta pudiera ser agarrada con la mano como se muestra en la figura 1.2.



**Fig. 1.2 Molino de mano**

Posteriormente se perfeccionaron aún más estas piedras creando un agujero por donde se introducía un palo que hacía la función de mango, facilitando el movimiento de giro. En el centro de estas piedras se creaba un agujero por donde se echaba el grano.

Como resultado de este avance tecnológico la labor de moler el cereal fue más productiva, aunque no dejaba de ser pesada.

Con el paso de los años las piedras de los molinos se hicieron más grandes para poder producir más harina en menos tiempo. Los primeros molinos de agua que se conocen son del siglo I A.C. aunque su uso estaba poco extendido. Los romanos utilizaron esta tecnología pero tampoco la extendieron demasiado debido a la abundante mano de obra de siervos existente. Aproximadamente a partir del siglo I D.C. también se generalizó el uso de mulas, burros, caballos, bueyes o vacas, que aportaban su fuerza bruta dando vueltas para generar el movimiento del molino. Se solía vendar los ojos a los animales para evitar el mareo. Este tipo de molino tirado por bestias, denominado Molino de Sangre, podía estar ubicado dentro de un edificio que no sólo albergaba el molino, sino que tenía también despensas para almacenar el cereal y la harina. Se desarrolló entonces el oficio de molinero, una persona que vivía en la casa del molino y al que se le encargaba la tarea de moler el cereal a cambio de una porción de harina.

Hubo que esperar hasta la Edad Media para que existiesen las condiciones necesarias para que los molinos de agua se transformaran en un instrumento clave para la economía. En gran medida, se sustituyó la energía proveniente del esfuerzo que hacían los animales por otro tipo de energía disponible en la naturaleza. El viento y el agua aportaban generosamente su energía para crear el movimiento necesario para accionar el molino. En aquellos lugares donde la condiciones naturales lo permitían, se independizó el acto de moler de los animales, suprimiendo el coste que suponía alimentar y mantener a estas bestias de carga.

Poco a poco fueron apareciendo y consolidándose los molinos de viento y los molinos de agua. Se convirtieron en la mejor alternativa para moler, olvidándose para siempre los molinos manuales que se habían usado durante varios milenios.

El molino de viento sólo se ponía en marcha cuando el día se presentaba ventoso, pero los molinos de agua situados en las veredas de los ríos permitían la puesta en marcha en cualquier momento debido a que la corriente de los ríos era contante. Algunos podían llegar a funcionar durante las 24 horas al día.

Habitualmente eran los señores feudales los propietarios de estos molinos. Los campesinos debían pagar a su señor con una parte del grano que querían moler. Con el tiempo la propiedad pasó a órdenes religiosas que ejercieron el control sobre el molino. Fue siempre un elemento muy valorado por aquellos que ostentaban el poder.

La mayoría de los molinos de agua dejaron de funcionar con la llegada de la

revolución industrial, que abrió nuevas posibilidades con la construcción de máquinas que poco a poco fueron quitando protagonismo a los molinos.

En la actualidad muchos molinos de agua se están rehabilitando para albergar actividades turísticas y culturales. Es una nueva vida que se le brinda a estos singulares edificios que durante siglos han sido de vital importancia para el pueblo en general.

Estos ingenios, muy populares, en los pueblos del norte de Italia eran una adecuación de la rueda persa saqiya (Fig. 1.3), que contaba con un eje horizontal. A pesar de que Vitrubio, los cita en su obra Diez libros de arquitectura, realizada en el año 25 D.C., los romanos no los utilizaron con demasiada frecuencia. Ello se debía a la abundancia de la mano de obra esclava, que suplía a las aplicaciones técnicas y a las fuentes de energía. La desaparición de la esclavitud, hizo que los molinos hidráulicos comenzaran a utilizarse en los siglos IV y V.

Este desconocimiento de la cultura occidental contrasta con los ingenios impulsados por el viento, que hicieron su aparición en las culturas orientales. En Mongolia utilizaban las ruedas de oraciones y su objetivo era producir sonidos rituales durante las celebraciones religiosas. Estos mecanismos, que poseían un eje vertical, se difundieron por Persia y China, con toda probabilidad, durante el siglo II A.C.

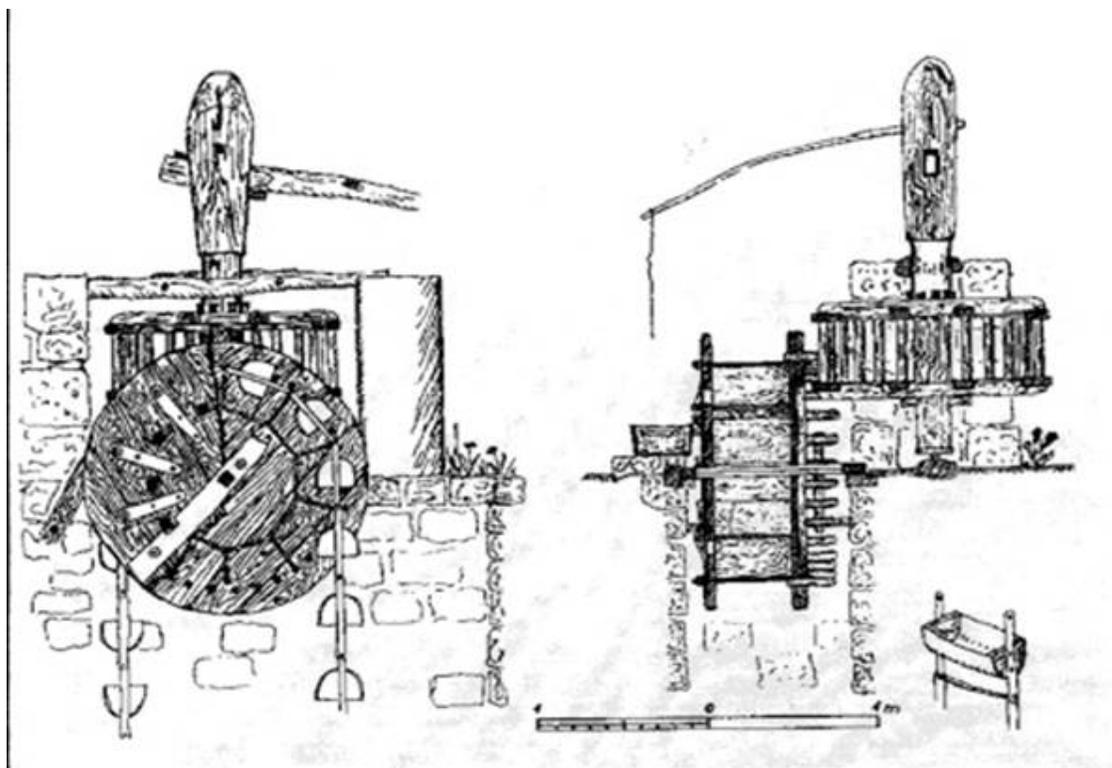
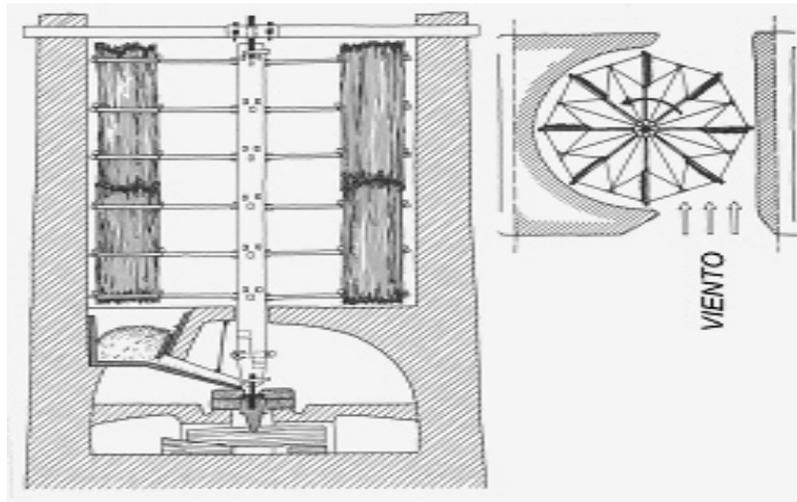


Fig. 1.3 El saqiya fue ampliamente utilizado en el mundo musulmán, desde los primeros días en adelante

Los sistemas utilizados por los persas, según explica Lyhn White, tienen gran parecido a las ruedas de oraciones de Mongolia. Se cree que Persia al poseer territorios muy ventosos, es el lugar de oriente donde se desarrollan los conocimientos sobre el viento. Pero aún así y debido al comportamiento irregular del viento, a la intensidad y la dirección, así como la necesidad de aplicar la presión en las palas del molino hace que haya que esperar unos siglos para que los científicos puedan desarrollar los primeros molinos de viento Fig. 1.4.



**Fig. 1.4 El molino persa estaba formado por una torre de mampostería provista de una pared frontal que permitía dirigir el viento sobre las palas.**

Este precedente es el más antiguo encontrado en la historia de la humanidad, pero hay que esperar otros siete siglos más para encontrar molinos de viento en pleno funcionamiento. Vuelve la cultura oriental a adelantarse a la occidental, no en vano es la cuna de las civilizaciones, y es en el siglo IX, cuando los hermanos Banu Musa, en el año 850, citan a los molinos en el Libro de los ingenios mecánicos.

También los geógrafos árabes Al-Tabri y Al-Masudi mencionan que los molinos son utilizados con una doble función, como molinos harineros y como molinos de agua. El mecanismo de estos molinos constaba de un eje vertical, al igual que los molinos hidráulicos usados en Italia. Los autores árabes explican que comenzaron a construir molinos, gracias a las explicaciones que traían los esclavos de Oriente. La importancia del invento y la utilización por parte de los árabes, hace que sean ellos, los introductores del invento en España.

## 1.4 LOS ACTUALES MOLINOS DE VIENTO

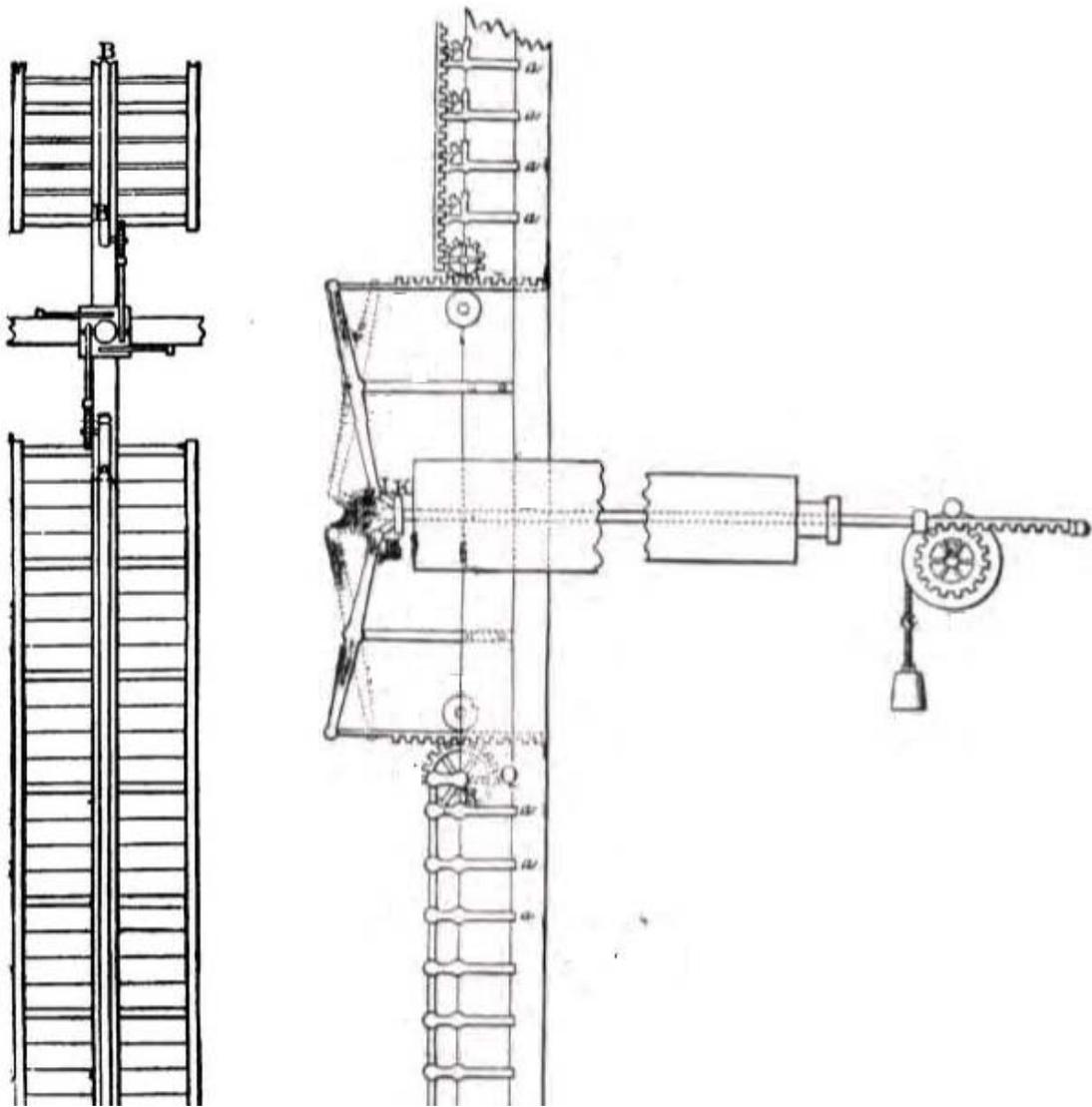
No existe un acuerdo o certeza total en cuanto al lugar donde aparecieron los primeros molinos o quien fue su inventor. Algunos estudiosos dicen que fue una idea del célebre inventor griego Herón de Alejandría allá por el siglo I antes de la era cristiana. Otros opinan que aparecieron en Persia, en el siglo VII de nuestra era. Luego, los árabes adoptaron este ingenioso dispositivo, el que fue llevado a Europa por los cruzados. Fue así como durante la Edad Media los molinos de viento alcanzaron un gran auge en Europa (fig. 1.5)



**Fig. 1.5 Molinos de Holanda**

Además de emplearse para el riego y moler el grano, los molinos construidos entre los siglos XV y XIX tenían otras aplicaciones, como el bombeo de agua en tierras bajo el nivel del mar, aserradores de madera, fábricas de papel, prensado de semillas para producir aceite, así como para triturar todo tipo de materiales.

En 1772 se introdujo el aspa con resortes Figura 1.6. Este tipo de aspa consiste en unas cerraduras de madera que se controlan de forma manual o automática, a fin de mantener una velocidad de giro constante en caso de vientos variables.



**Fig. 1.6 Las aspas compuestas por tablillas de persianas reemplazaron a las de tela a finales del siglo dieciocho. Las tablillas pivotan sobre un resorte, abriéndose cuando el viento sopla y cerrándose cuando está en calma. De este modo se mantiene una fuerza constante por el viento en las aspas.**

Otros avances importantes han sido los frenos hidráulicos para detener el movimiento de las aspas y la utilización de aspas aerodinámicas en forma de hélice, que incrementan el rendimiento de los molinos con vientos débiles.

El uso de las turbinas de viento para generar electricidad comenzó en Dinamarca a finales del siglo pasado y se ha extendido por todo el mundo. Los molinos para el bombeo de agua se emplearon a gran escala durante el asentamiento en las regiones áridas del oeste de Estados Unidos.

### 1.4.1 ¿CÓMO FUNCIONAN LOS MOLINOS DE VIENTO?

El molino de viento aprovecha la energía eólica por medio de grandes aspas o paletas acopladas a un eje. Los tradicionales solían tener cuatro aspas en forma de cruz, las que llegaban a medir unos 11,5 metros de largo, y estaban compuestas de una estructura de madera recubierta por lona.

Las aspas se colocan en ángulo con respecto a la dirección de las corrientes de viento naturales, pudiendo girar en círculo aun cuando se encuentren perpendiculares a su fuente de energía. Algunas aspas eran directamente de lona, que se embolsaba con el viento. Hay quienes piensan que la idea de los molinos surgió observando las velas de los barcos.

En general las aspas, sobre todo las más modernas, tienen una ligera concavidad en la cara que enfrenta al viento, la que facilita que sean impulsadas por éste como se muestra en la fig 1.7. Las aspas, al girar por efecto del viento, mueven un árbol (barra, generalmente metálica) que transmite el movimiento a una rueda maestra dentada, cuyos dientes se engranan con otra rueda más pequeña llamada linterna, que gira en forma horizontal, arrastrando un grueso eje metálico cuadrado, que mueve una muela (volandera) aplastando el grano contra otra muela fija (solera).



**Fig. 1.7 Molino de viento**

Un procedimiento parecido, con transmisión de movimiento por un eje, se emplea para bombear el agua. La dificultad que presenta la utilización de los molinos de viento es la dirección variable de las corrientes, que hace necesario reorientar las aspas cada vez que cambia el viento.

## 1.5 ORIGEN DEL VIENTO

La causa de los vientos está en los movimientos de rotación y de traslación terrestres que dan origen, a su vez, a diferencias considerables en la radiación solar o (insolación), principalmente de onda larga (infrarroja o térmica), que es absorbida de manera indirecta por la atmósfera, de acuerdo con la propiedad diatérmica del aire, según la cual la radiación solar sólo calienta indirectamente a la atmósfera ya que los rayos solares pueden atravesar la atmósfera sin calentarla. Son los rayos de calor (infrarrojos) reflejados por la superficie terrestre y acuática de la Tierra los que sí logran calentar el aire. Al aumentar su temperatura, asciende y entonces, otra masa de aire más densa y fría se mueve para ocupar el espacio que la primera ha dejado como se muestra en la Fig. 1.8

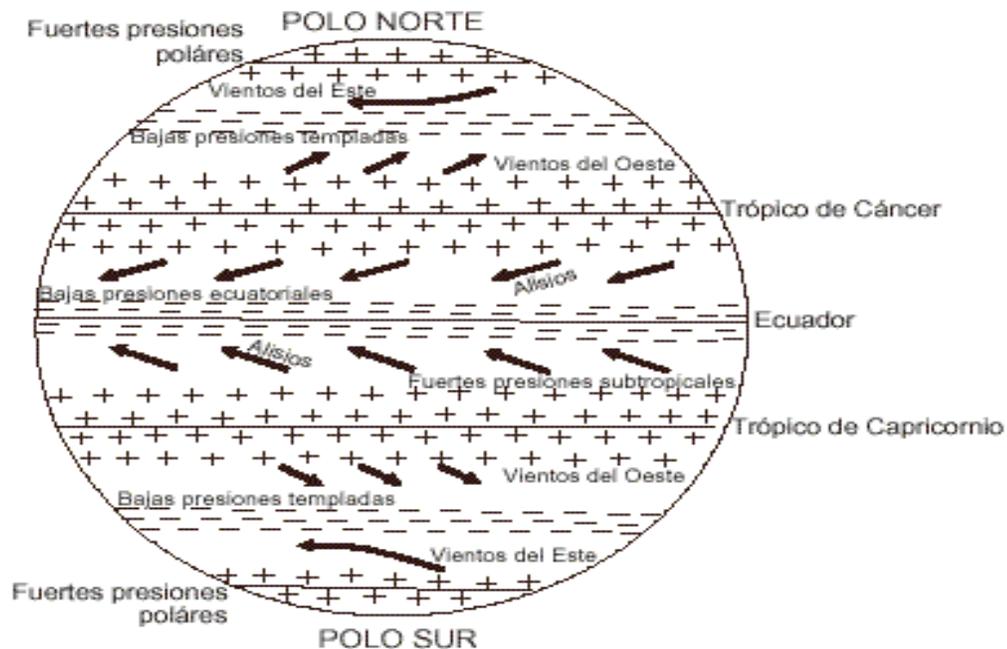


Fig. 1.8 Vientos del mundo

Los elementos constituyentes del clima son temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones. Tener un registro durante muchos años de los valores correspondientes a dichos elementos con respecto a un lugar determinado, nos sirve para poder definir cómo es el clima de ese lugar. De estos cinco elementos, los más importantes son la temperatura y las precipitaciones, porque en gran parte, los otros tres elementos o rasgos del clima están estrechamente relacionados con los dos que se han citado. Ello significa que la mayor o menor temperatura da origen a una menor o mayor presión atmosférica, respectivamente, ya que el aire caliente tiene menor densidad y por ello se eleva (ciclón o zona de baja presión), mientras que el aire frío tiene mayor densidad y tiene tendencia a descender (zona de alta presión o anticiclón).

A su vez, estas diferencias de presión dan origen a los vientos (de los anticiclones a los ciclones), los cuales transportan la humedad y las nubes y, por lo tanto, dan origen a la desigual repartición de las lluvias sobre la superficie terrestre.

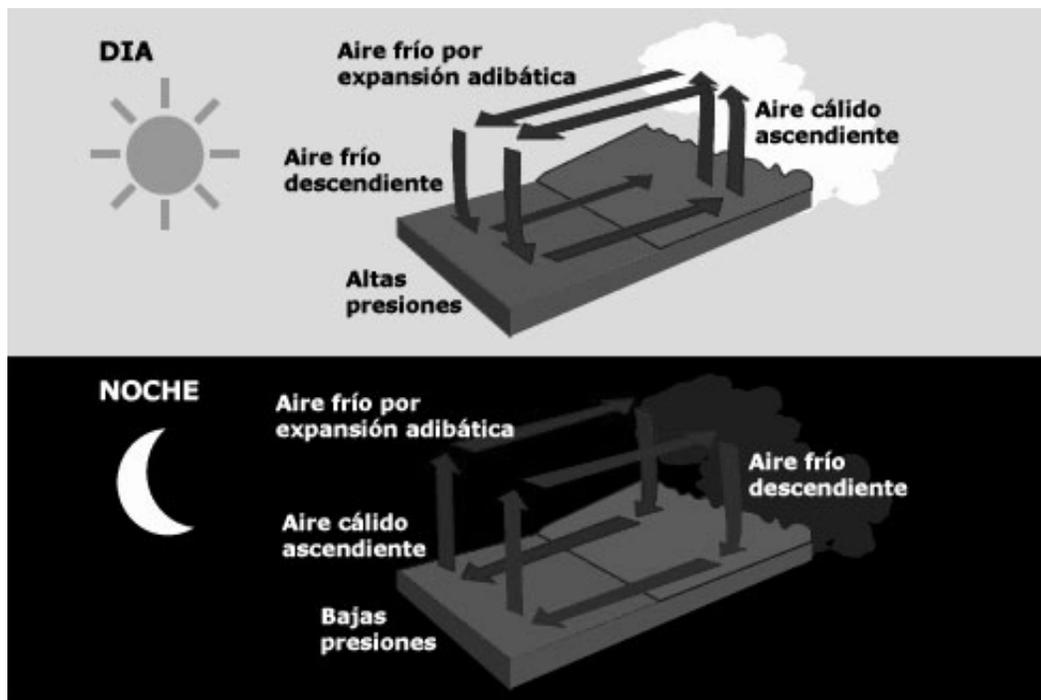


Fig. 1.9 Vientos durante el día y la noche

## 1.6 CLASES DE VIENTOS

Circulan por todo el planeta, mantienen su dirección durante todo el año. Son los alisios, contralisios y circumpolares, Figura. 1.10.

- a) Vientos Alisios: soplan desde los Trópicos hacia el Ecuador. En el hemisferio sur son vientos del sudeste y en el hemisferio norte son vientos del nordeste.
- b) Contralisios: soplan desde los Trópicos (altas tropicales) hacia los Círculos Polares (bajas circumpolares)
- c) Circumpolares: soplan desde los polos geográficos hacia los Círculos Polares. Soplan en la misma dirección que los alisios.

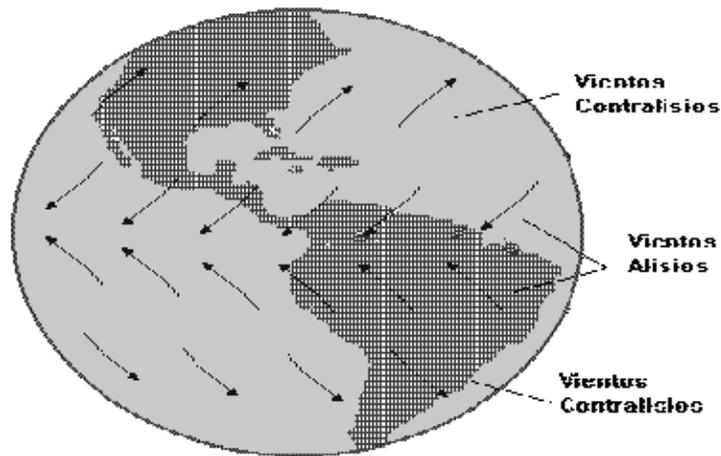


Fig. 1.10 vientos del mundo

### 1.7 CLASIFICACIÓN DEL VIENTO SEGÚN SU INTENSIDAD.

Por medio del viento se transporta la humedad y el calor de una zona a otra, y de esta manera se determina el clima en un determinado punto del planeta. Al ser una magnitud vectorial se la conoce por su dirección, sentido y velocidad.

En el mar se emplean los 16 rumbos de la rosa de los vientos Figura. 1.11.

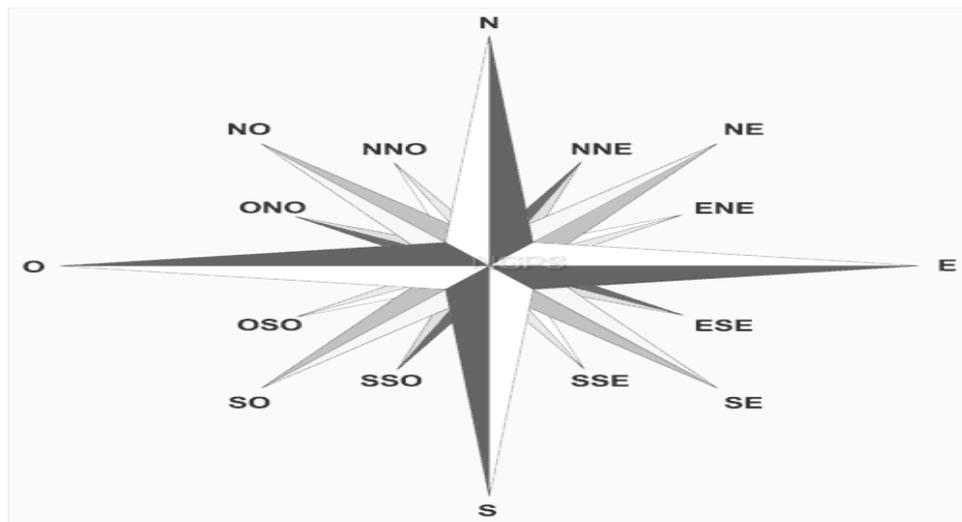


Fig. 1.11 rosa de los vientos

Conociendo su velocidad, se puede conocer algunos de sus efectos e incidencia sobre el plano acuoso. Uno de ellos es el movimiento mecánico del agua que se produce por la fricción del aire contra la superficie del líquido o más conocido como ola.

## **1.8 LA DIRECCIÓN DEL VIENTO**

Los vientos son nombrados en relación con las direcciones en las que soplan. Así se habla de vientos del Oeste, vientos del Este, vientos del Noreste, etc.

La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desliza de los centros de alta presión (anticiclones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones.

La determinación de la dirección y velocidad del viento se realiza a partir del estudio de la distribución de la presión atmosférica en la geografía terrestre, es decir a partir de los mapas isobáricos, donde existen dos principios generales:

- El viento va siempre desde los anticiclones (área de alta presión que se caracteriza por ser seco, frío y descendente) a las borrascas (área donde la presión atmosférica es más baja que la del aire circundante).
  
- Su velocidad se calcula en función de lo juntas o separadas que estén las isobaras en el mapa. Cuanto más juntas estén las isobaras, más fuerza tendrá el viento y cuanto más separadas, menos

## **1.9 VELOCIDADES DE LOS VIENTOS**

El instrumento más antiguo para conocer la dirección de los vientos es la veleta que, con la ayuda de la rosa de los vientos, define la procedencia de los vientos, es decir, la dirección desde donde soplan. La manga de viento utilizada en los aeropuertos suele ser bastante grande y visible para poder ser observada desde los aviones tanto en el despegue como, en especial, en el aterrizaje.

La rapidez y dirección de los vientos se mide con el anemómetro, que suele registrar dicha dirección y rapidez a lo largo del tiempo. La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes (Un huracán es una tormenta tropical con fuertes vientos que circulan alrededor de un área de baja presión) de categoría 5 y los tornados (Un tornado es un fenómeno meteorológico que se manifiesta como una columna de aire que rota de forma violenta y potencialmente peligrosa, estando en contacto tanto con la superficie de la Tierra).

El record de mayor rapidez del viento en la superficie terrestre lo tiene el Monte Washington en New Hampshire (Estados Unidos), con 231 millas por hora, es decir,

372 Km. /h, registrado en la tarde del 12 de abril de 1934. La causa de esta rapidez tan grande del viento está en la configuración local del relieve, que forma una especie de ensilladura de norte a sur que fuerza al viento del oeste a concentrarse en el paso como si fuera un embudo. Es importante señalar que esta enorme rapidez sólo se alcanza en una especie de tobera poco extendida, siendo mucho menor a una corta distancia de este punto. Todas las cordilleras del planeta tienen puntos similares, donde los vientos soplan con fuerza por la existencia de pasos, collados o ensilladuras donde se concentra y acelera el paso del viento. En Venezuela, la carretera trasandina pasa una ensilladura de este tipo entre la cuenca del río Mocotíes y la depresión del Táchira y que tiene el nombre muy apropiado de Páramo Zumbador por la fuerza del viento.

En México La Ventosa es muy conocida por los fuertes vientos que con gran frecuencia se producen y soplan en la zona, debiéndole obviamente su propio nombre, estos vientos que soplan desde el Golfo de Tehuantepec son particularmente peligrosos en el tramo carretera 185-190-200 que une a La Ventosa con Juchitán de Zaragoza, el mayor riesgo lo corren los camiones de carga que llegan a ser volcados por los fuertes vientos. Es debido a ello que es el lugar propicio para el desarrollo de la explotación de la energía eólica, existiendo varios generadores o molinos de viento

La velocidad del viento se mide preferentemente en nudos y mediante la escala Beaufort (Tabla 1.2): Esta es una escala numérica utilizada en meteorología que describe la velocidad del viento, asignándole números que van del 0 (calma) al 12 (huracán). Fue ideada por el Almirante Beaufort en el siglo XIX .

**Tabla 1.2. Medición de la fuerza del viento según la escala Beaufort**

| <b>Escala de Beaufort</b> | <b>Denominación</b>          | <b>Efectos observados</b>                          | <b>Nudos</b>      | <b>Km/hora</b>   |
|---------------------------|------------------------------|--|-------------------|------------------|
| <b>0</b>                  | Calma                        | El humo se eleva en vertical.                      | <b>menos de 1</b> | <b>0 a 1,9</b>   |
| <b>1</b>                  | Ventolina ó brisa muy ligera | El viento inclina el humo, no mueve banderas.      | <b>1 a 3</b>      | <b>1,9 a 7,3</b> |
| <b>2</b>                  | Flojito ó brisa ligera       | Se nota el viento en la cara.                      | <b>4 a 6</b>      | <b>7,4 a 12</b>  |
| <b>3</b>                  | Flojo ó pequeña brisa        | El viento agita las hojas y extiende las banderas. | <b>7 a 10</b>     | <b>13 a 19</b>   |
| <b>4</b>                  | Bonancible ó brisa moderada  | El viento levanta polvo y papeles.                 | <b>11 a 16</b>    | <b>20 a 30</b>   |

|           |                          |   |                     |                      |
|-----------|--------------------------|---|---------------------|----------------------|
| <b>5</b>  | Fresquito<br>buena brisa | ó El viento forma olas<br>en los lagos.   | <b>17 a<br/>21</b>  | <b>31 a 40</b>       |
| <b>6</b>  | Fresco                   | El viento agita las<br>ramas de los<br>árboles, silban los<br>cables, brama el<br>viento. | <b>22 a<br/>27</b>  | <b>41 a 51</b>       |
| <b>7</b>  | Frescachón               | El viento estorba la<br>marcha de un<br>peatón.   | <b>28 a<br/>33</b>  | <b>52 a 62</b>       |
| <b>8</b>  | Duro                     | El viento arranca<br>ramas pequeñas.  | <b>34 a<br/>40</b>  | <b>63 a 75</b>       |
| <b>9</b>  | Muy duro                 | El viento arranca<br>chimeneas y tejas.   | <b>41 a<br/>47</b>  | <b>76 a 88</b>       |
| <b>10</b> | Temporal<br>tempestad    | ó Grandes estragos.   | <b>48 a<br/>55</b>  | <b>89 a 103</b>      |
| <b>11</b> | Tempestad<br>violenta    | Devastaciones<br>extensas.  | <b>56 a<br/>63</b>  | <b>104 a<br/>118</b> |
| <b>12</b> | Huracán                  | Huracán<br>catastrófico.  | <b>64 y<br/>más</b> | <b>119 y<br/>más</b> |

## **1.10 ESCALAS DE VIENTOS: VARIACION HORIZONTAL**

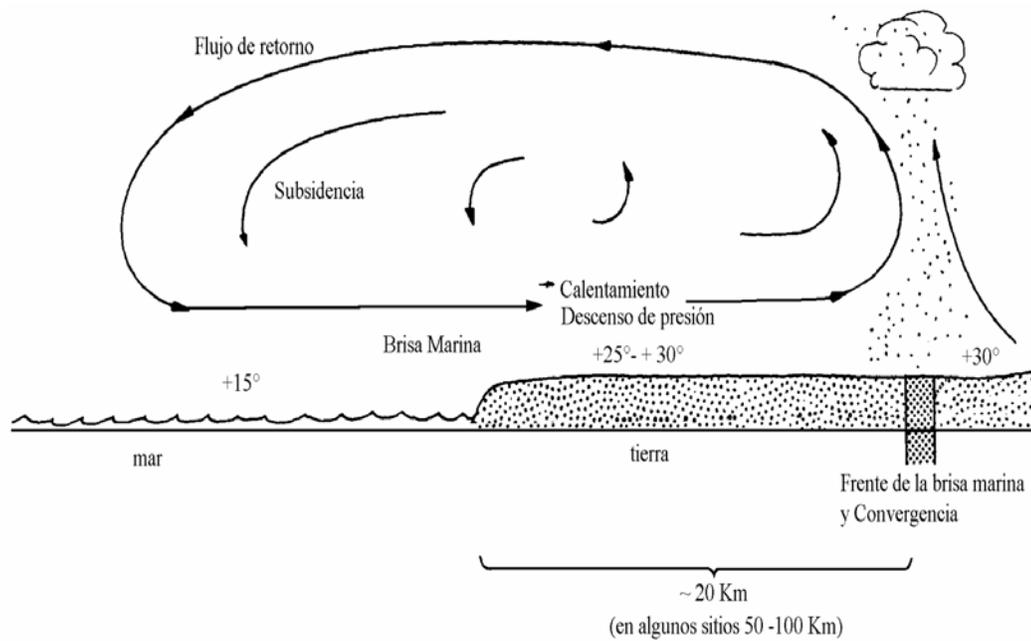
### *Vientos de Escala Macro (100 - 10,000 Km.)*

El flujo de viento originado por la circulación global se conoce como vientos de escala macro. La escala horizontal de movimiento de estos vientos va desde algunos cientos a miles de kilómetros. El viento de escala macro (no perturbado por características de la superficie terrestre excepto por cadenas de montañas) se encuentra en altitudes superiores a los 1,000 metros.

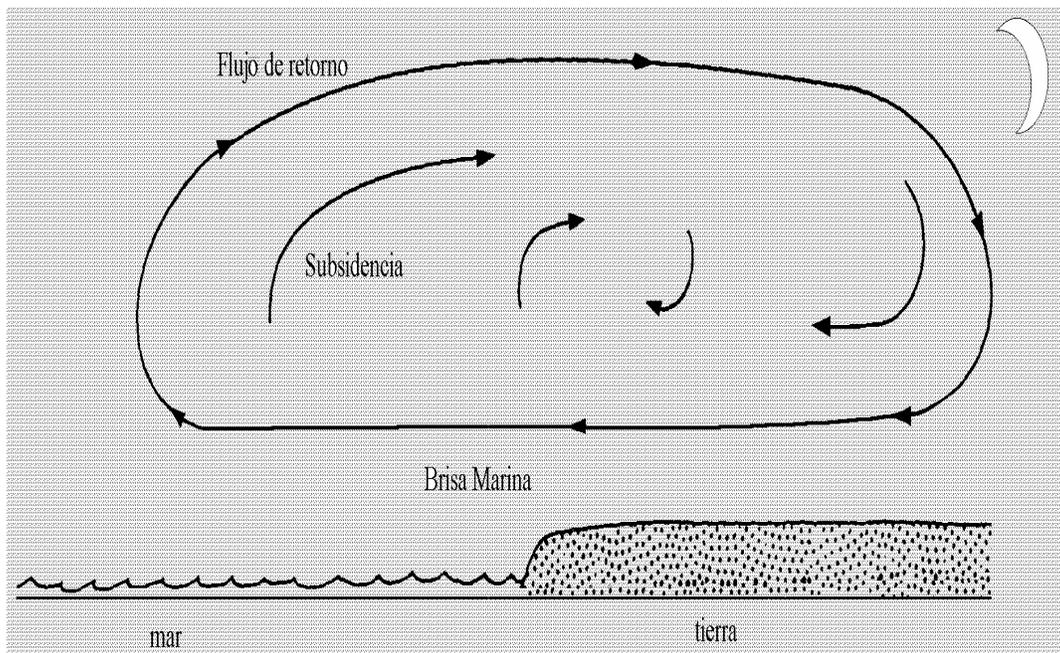
### *Vientos de Escala Media (5 a 200 Km.)*

Las variaciones de la superficie terrestre con escala horizontal de 10 a 100 Kilómetros tienen una influencia en el flujo de viento entre los 100 y 1,000 metros de altura sobre el terreno.

Obviamente, la topografía es importante y los vientos tienden a fluir por encima y alrededor de montañas y colinas. Cualquier otro obstáculo (ó rugosidad) sobre la superficie terrestre de gran tamaño desacelera el flujo de aire. A manera de ejemplo se ilustran dos tipos de vientos de escala media o de naturaleza local como son la brisa marina y los vientos de montaña figuras 1.12 y 1.13.



**Fig. 12 Día (verano)**



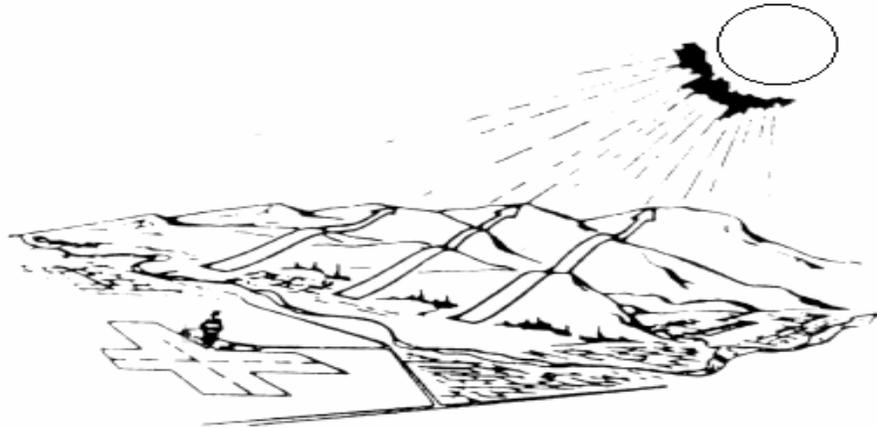
**Fig. 13 Noche (invierno)**

Cerca a las playas se pueden observar los patrones de brisa marina Durante el día la tierra se calienta más que el agua (mar o lago), el aire sobre la tierra asciende y la brisa marina se desarrolla.

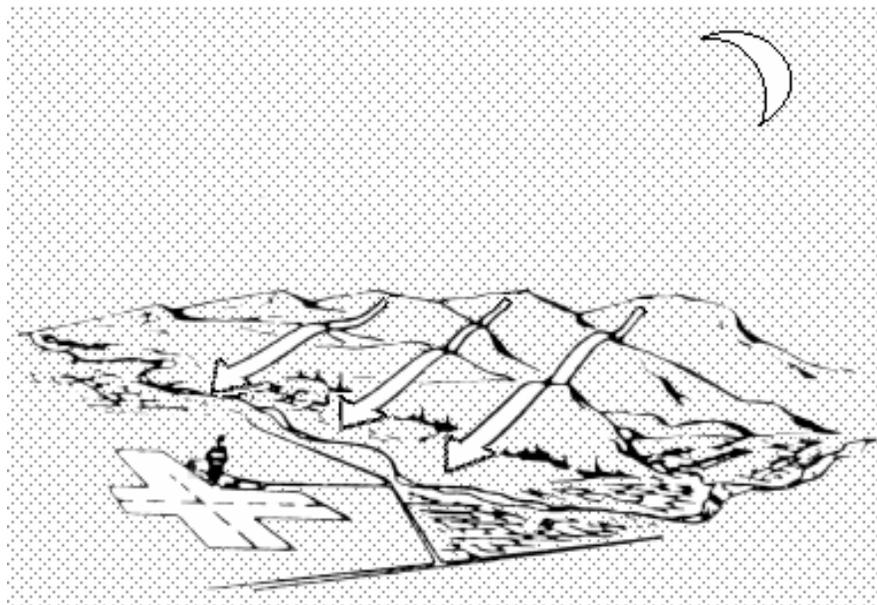
Durante la noche, la tierra se enfría a temperaturas menores que la del agua, causando una brisa terrestre. Esta es usualmente más débil que la brisa marina.

Otro ejemplo involucra los vientos de valle-montaña. Durante el día, las faldas de las

montañas se calientan, el aire asciende y el viento tiende a fluir a través del valle hacia la montaña la falda de la montaña, forzando el viento a soplar hacia el valle figuras 1.14 y 1.15.



**Fig. 14 Día**



**Fig. 15 Noche**

En las regiones tropicales vientos térmicos son muy comunes. Estos vientos, los cuales son causados por gradientes de temperatura a lo largo de la superficie terrestre, pueden ser fuertes durante el día, especialmente en regiones desérticas.

Vientos de Escala Micro (hasta 10 Km.)

En una escala micro, los vientos de superficie (entre 60 y 100 metros sobre el terreno), los cuales son los más interesantes para la aplicación directa de la conversión de la

energía eólica, son influenciados por las condiciones locales de la superficie, como la rugosidad del terreno (vegetación, edificios) y obstáculos.

### **1.11 LEYES Y CLASIFICACIÓN DE LOS VIENTOS.**

El viento es una corriente de aire que se forma en la atmósfera por las diferencias de temperaturas y presión entre diversos puntos. El viento es un elemento termodinámico del clima, la desigual presión atmosférica originada por la diferencia de temperatura es la que origina el movimiento de las masas de aire; su velocidad y dirección puede ser modificada por la fuerza de movimiento de rotación de la tierra y las formas de relieve entre otras. El viento es parte importante del ciclo hidrológico debido a que transporta humedad originada en los mares hacia el macizo continental. El movimiento de rotación es el que ocasiona la fuerza reflexiva, esto quiere decir y es la causante que todos los cuerpos fluidos se desplacen horizontalmente sobre la corteza terrestre y sufran desviaciones a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur. Tal desviación es inexistente en el ecuador y aumenta en los polos que puede ser apreciado en los vientos constantes.

#### *Leyes de los vientos*

1ª. Los vientos circula desde las regiones de alta presión hacia las de baja presión ( Ley de Buys Ballot)

2ª . Por efecto de la rotación de la tierra, los vientos se desvían a la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur (Ley de ferrel ).

3ª. La velocidad del viento está en razón directa con la diferencia de presión entre los cuales sopla (Ley de stephenson ) .

Los vientos se clasifican en regulares o constantes, en periódicos e Irregulares y cada uno de ellos se encuentra subdividido; los regulares en Alisios, contralisios y polares, los periódicos en monzones y brisas mientras que los irregulares en Ciclones tropicales, tornados, trombas locales.

### **1.12 PRINCIPALES ACCIONES QUE PRODUCEN EL VIENTO**

- El viento es la principal fuerza generadora del oleaje y de las grandes corrientes oceánicas y además también el complejo modelo de las corrientes secundarias y

remolinos costeros, mediante una compleja interacción de la *rotación de la Tierra*, la forma de su *cuenca oceánica* y la física del movimiento de los fluidos.

- Si la temperatura, la humedad y la presión son los elementos que determinan el clima, el viento y las precipitaciones son sus más evidentes consecuencias. El principal efecto del viento es mezclar distintas capas o bolsas de aire. Cuando se concentra la humedad en una zona y esta asciende hasta una capa de aire más fría, se producen las precipitaciones.
- El viento actúa como agente de transporte, en efecto, interviene en la polinización anemofila, en el desplazamiento de las semillas. Es también un agente erosivo.

### 1.13 CALCULO DE LA POTENCIA DEL VIENTO

La potencia en el viento soplando con una velocidad  $V$  a través de un área  $A$  es perpendicular a  $V$ , es:

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} A V^3$$

Ecuación. 1.1

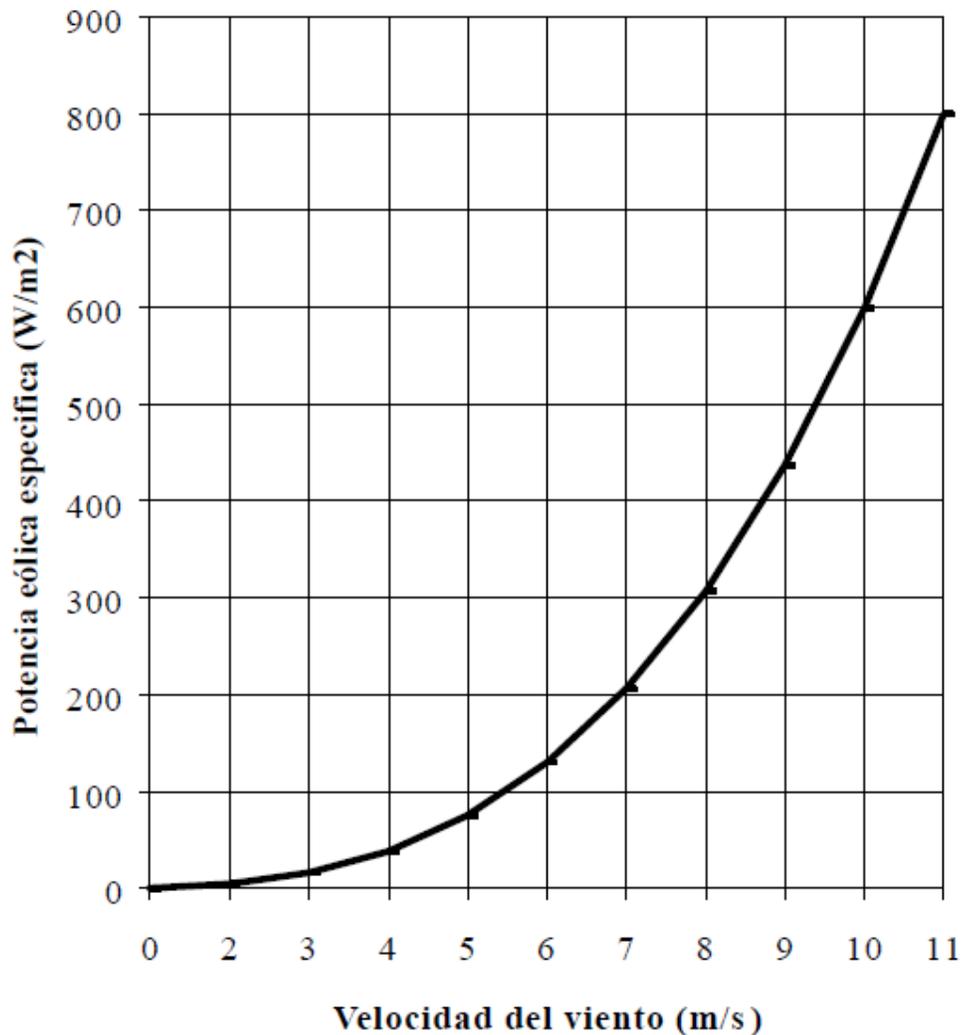
Donde:

$P$  viento es la potencia en el viento en watts

$V$  es la velocidad del viento en m/s

$A$  es el área perpendicular al viento en  $m^2$

Si la velocidad del viento se duplica, la potencia es ocho veces más grande. De 2 a 3 m/s de velocidad de viento, la potencia del viento es más de tres veces. De 4 a 5 m/s de velocidad de viento, la potencia es el doble (Ver figura 1.16).



**Fig. 1.6 Potencia eólica específica en función de la velocidad para condiciones normales de Presión y temperatura**

En un día con borrasca la velocidad del viento puede variar de 1 a 10 m/s, implicando que la potencia en el viento cambia por un factor de  $10^3 = 1000$ . Un cambio de esta magnitud no ocurre diariamente, pero sí refleja las grandes variaciones que la potencia del viento puede alcanzar en diferentes lugares y escalas de tiempo.

Adicional a la velocidad del viento, la potencia eólica se ve además afectada por variaciones en la densidad del aire, sobretodo si se pretenden realizar instalaciones en zonas montañosas de gran elevación sobre el nivel del mar.

Normalmente, la potencia eólica teórica se da como potencia eólica específica, esto es por unidad de área. Así que:

$$P_{\text{viento}} = 1/2 \rho V^3 (w/m^2)$$

Ecuación. 1.2

En la que  $P_{\text{viento}}$  esta expresada en watts por metro cuadrado.

Donde:

$P_{\text{viento}}$  es la potencia en el viento en vatios

$\rho$  es la densidad del aire (aprox. 1.2 Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  es la velocidad del viento en m/s

$A$  es el área perpendicular al viento en m<sup>2</sup>

La tabla 1.3 muestra la variación de la potencia eólica específica para diferentes valores de velocidad de viento, con la densidad del aire a condiciones estándar a la altura del nivel del mar (1.2 Kg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 1.3 Variación de la potencia eólica específica**

| <b>VELOCIDAD DEL VIENTO EN m/s</b> | <b>POTENCIA EOLICA ESPECIFICA EN W/m<sup>2</sup></b> |
|------------------------------------|--|
| 2                                  | 5  |
| 3                                  | 16   |
| 4                                  | 38   |
| 5                                  | 75   |
| 6                                  | 130  |
| 7                                  | 206  |
| 8                                  | 307  |
| 9                                  | 437  |
| 10                                 | 600  |
| 11                                 | 800  |
| 12                                 | 1040   |

La tabla 1.4 muestra la variación de la densidad del aire para diferentes alturas sobre el nivel del mar y temperatura. Para el cálculo de la potencia eólica a diferentes alturas sobre el nivel del mar, esta deberá ser corregida utilizando el verdadero valor de la densidad según la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Densidad del aire a diferentes alturas sobre el nivel del mar

| Alturas sobre el nivel del mar (m) | Densidad de Aire seco en Kg/m <sup>3</sup> a: |                  |
|------------------------------------|---|------------------|
|                                    | 20 <sup>0</sup> C                             | 0 <sup>0</sup> C |
| 0                                  | 1.204   | 1.292            |
| 500                                | 1.134   | 1.212            |
| 1000                               | 1.068   | 1.146            |
| 1500                               | 1.005   | 1.078            |
| 2000                               | .945  | 1.014            |
| 2500                               | .887  | .952             |
| 3000                               | .833  | .984             |
| 3500                               | .781  | .839             |
| 4000                               | .732  | .786             |

#### 1.14 LA RUGOSIDAD

Es importante cuantificar el efecto de la morfología del territorio circundante al aerogenerador sobre la velocidad del viento. Para esto se define la “rugosidad” expresada por la siguiente ecuación. Esta función se modifica dependiendo de los obstáculos físicos presentes en el entorno que inciden sobre el desplazamiento del aire

$$V(Z) = V_{\text{ref}} \cdot \frac{\ln(Z/Z_0)}{\ln(Z_{\text{ref}}/Z_0)}$$

Ecuación. 1.3

Z es la altura desde el suelo

V<sub>ref</sub> es la velocidad medida a una altura Z<sub>ref</sub>

Z<sub>0</sub> es la longitud de la rugosidad

## **CAPÍTULO II**

# **CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL VIENTO. TECNOLOGÍA EÓLICA.**

El aprovechamiento del viento para generar energía es casi tan antiguo como la civilización. La primera y más sencilla aplicación fue la de las velas para la navegación.

La producción de energía eléctrica a través del viento normalmente se asocia a la imagen de las numerosas y enormes máquinas de los parques eólicos, pero también cabe la posibilidad de emplear instalaciones de baja potencia, de un tamaño poco superior al de una antena parabólica, las cuales se denominan microeólicas.

Las instalaciones eólicas se pueden utilizar de forma aislada o junto a paneles fotovoltaicos, para proporcionar electricidad a zonas aisladas o difícilmente alcanzables por la red eléctrica, así como para vender la electricidad producida a la red eléctrica.

Con las instalaciones eólicas se presenta por tanto una oportunidad para producir energía eléctrica a gran escala, de forma sostenible y compatible con el medioambiente.

## **2.1 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DEL VIENTO.**

La forma de aprovechamiento consiste en transformar la energía eólica en energía mecánica. La energía del viento se ha utilizado esencialmente en molinos de viento, los cuales han permitido principalmente el bombeo de agua, la trilla y molienda de productos agrícolas y en los últimos años, generación de electricidad.

Las características básicas, que permiten analizar la aplicación de la energía eólica son las siguientes:

- Zona de emplazamiento.
- Velocidad del viento promedio en km/h o m/seg.
- Dirección de acuerdo a la orientación y su variabilidad.

Cada zona geográfica posee distintas características de vientos, por lo tanto, para poder identificar un determinado lugar, es necesario conocer o determinar las variaciones de velocidad del viento mensuales, tener una medida de la variación del viento día a día, conocer las fluctuaciones dentro del mismo día (ejemplo: calma por la mañana, fuerte en la tarde) y por supuesto su dirección preferente. Con estos parámetros es posible determinar el dispositivo más conveniente para el lugar.

El aprovechamiento de la energía eólica constituye una alternativa muy importante y competitiva, por lo que es muchísima en la actualidad su aplicación a nivel mundial, como parque generador eléctrico, mediante la ejecución de centrales eólicas, figura 2.1.



**Fig. 2.1 La Ventosa, inaugurado en México, entre el istmo de el Golfo de México y el Pacífico, es el mayor parque eólico de América Latina con una potencia que podría alcanzar los 250 MW de electricidad con 167 turbinas**

## **2.2 VALORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO**

Para un aprovechamiento energético del viento es de vital importancia realizar correctamente tanto una valoración energética del viento existente, como una caracterización del comportamiento del viento en la zona de implantación. El que se lleven a cabo estas estimaciones es muy importante en temas tan diversos como la rentabilidad de la instalación, el régimen de cargas estructurales que soportan las máquinas, la programación de los trabajos de mantenimiento, la estrategia de operación técnica de los aerogeneradores, la disposición de las máquinas en el terreno.

La evaluación del viento captado es de tal importancia que diferencias del orden del 10% en su valoración significan diferencias del 30% en la producción energética obtenida. En la evaluación y caracterización se busca la determinación del viento útil en un emplazamiento determinado, o lo que es lo mismo aquel viento que reúna las características necesarias para su aprovechamiento con un determinado sistema de

captación. Esta evaluación es una disciplina compleja, y sujeta a un gran número de factores interrelacionados. Para la realización de una correcta evaluación del viento se hace necesario en primer lugar una recopilación de todos los datos de carácter histórico existentes en la zona y que puedan orientarnos sobre el viento existente. Otros datos significativos, e interrelacionados entre sí, son la vegetación existente, la topografía del terreno, el tipo de erosión presente, las orientaciones y características de la arquitectura popular.

Los datos cuantitativos históricos provenientes de estaciones meteorológicas de la zona son igualmente muy valiosos. En una segunda etapa, una vez analizados los datos e indicios históricos, es necesario la realización de una campaña de medidas durante al menos un año.

Conveniente disponer los equipos de medida en aquellos lugares que sean los que mejor permitan la evaluación y caracterización del viento existente en toda el área estudiada y su variación con la altura, para ello serán necesarias varias estaciones de medida.

## **2.3 ZONAS DE EMPLAZAMIENTOS Y SU CLASIFICACIÓN**

Para establecer los requisitos que han de satisfacer los distintos elementos constitutivos de la instalación eléctrica en emplazamientos, con atmósferas potencialmente explosivas, estos emplazamientos se agrupan en dos clases según la naturaleza de la sustancia inflamable, denominadas como Clase I si el riesgo es debido a gases, vapores o nieblas y como Clase II si el riesgo es debido a polvo.

Los emplazamientos son la relación urbanística (tanto desde el punto de vista espacial como económico y social) existente en el interior del espacio urbano entre las distintas partes que componen la ciudad, compuesta por zonas habitualmente agregadas concéntricamente a partir del emplazamiento

En las anteriores clases se establece una subdivisión en zonas según la probabilidad de presencia de la atmósfera potencialmente explosiva.

La clasificación de emplazamientos se llevará a cabo por un técnico competente que justificarán los criterios y procedimientos aplicados. Esta decisión tendrá preferencia sobre las interpretaciones literales o ejemplos que figuran en los textos y figuras de los documentos de referencia que se citan para establecer esta clasificación.

### 2.3.1 ZONAS DE EMPLAZAMIENTOS CLASE I

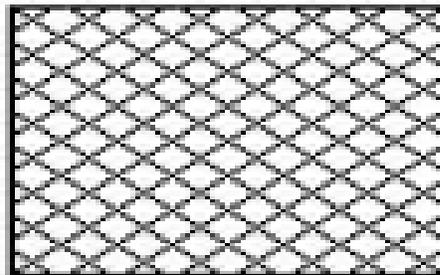
*Se distinguen:*

**Zona 0:** Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva construida por una mezcla de aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor, o niebla, está presente de modo permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente.

**Zona 1:** Emplazamiento en el que cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación ocasional de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

**Zona 2 :** Emplazamiento en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de atmósfera explosiva constituida por una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o, en la que , en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo subsiste por espacios de tiempo muy breves.

En la Norma *UNE- EN 60079- 10* se recogen reglas precisas para establecer zonas en emplazamientos de Clase I.



**ZONA 1**

Fig. 2.2. Simbología para la representación de la zona clase I

### 2.3.2 ZONAS DE EMPLAZAMIENTO CLASE II

*Se distinguen:*

**Zona 20:** Emplazamiento en el que la atmósfera explosiva en forma de nube de polvo inflamable en el aire está presente de forma permanente, o por un espacio de tiempo

prolongado, o frecuentemente.

Las capas en sí mismas no constituyen una zona 20. En general estas condiciones se dan en el interior de conducciones, recipientes, etc. Los emplazamientos en los que hay capas de polvo pero no hay nubes de forma continua o durante largos períodos de tiempo, no entran en este concepto.

**Zona 21:** Emplazamientos en los que cabe contar con la formación ocasional, en condiciones normales de funcionamiento, de una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo inflamable en el aire.

Esta zona puede incluir entre otros, los emplazamientos en la inmediata vecindad de, por ejemplo, lugares de vaciado o llenado de polvo.

**Zona 22:** Emplazamientos en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de una atmósfera explosiva peligrosa en forma de nube de polvo inflamable en el aire o en la que, en caso de formarse dicha atmósfera explosiva, sólo subsiste por breve espacio de tiempo.

Esta zona puede incluir, entre otros, entornos próximos de sistemas conteniendo polvo de los que puede haber fugas y formar depósitos de polvo

En la *Norma CEI 61241-3* se recogen reglas para establecer zonas en emplazamientos de Clase II.

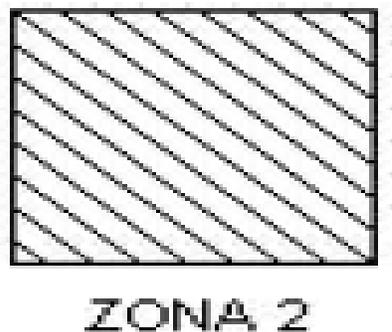


Fig. 2.3. Simbología para la representación la zona clase 2

## 2.4 CLASES DE EMPLAZAMIENTOS

*Los emplazamientos se agrupan como sigue:*

**Clase I:** Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber gases, vapores

o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables; se incluyen en esta clase los lugares en los que hay o puede haber líquidos inflamables.

**Clase II:** Comprende los emplazamientos en los que hay o puede haber polvo inflamable

## 2.5 EJEMPLOS DE EMPLAZAMIENTOS PELIGROSOS

A título orientativo, sin que esta lista sea exhaustiva, y salvo que el proyectista pueda justificar que no existe el correspondiente riesgo.

Son ejemplos de emplazamientos peligrosos:

- **De Clase I:**
  - Lugares donde se vierten líquidos volátiles inflamables de un recipiente a otro.
  - Estacionamientos y talleres de reparación de vehículos. Se excluyen los garajes de uso privado para estacionamiento de 5 vehículos o menos.
  - Interior de cabinas de pintura donde se usen sistemas de pulverización y su entorno cercano cuando se utilicen disolventes.
  - Secaderos de material con disolventes inflamables.
  - Locales de extracción de grasas y aceites que utilicen disolventes inflamables.
  - Locales con depósitos de líquidos inflamables abiertos o que se puedan abrir.
  - Zonas de lavanderías y tintorerías en las que se empleen líquidos inflamables.
  - Salas de gasógenos. Instalaciones donde se produzcan, manipulen, almacenen o consuman gases inflamables.
  - Salas de bombas y/ o de compresores de líquidos y gases inflamables.
  - Interiores de refrigeradores y congeladores en los que se almacenen materias inflamables en recipientes abiertos, fácilmente perforables o con cierres poco consistentes.
  
- **De Clase II:**
  - Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento de la industria alimentaria que maneja granos y derivados.
  - Zonas de trabajo y manipulación de industrias químicas y farmacéuticas

en las que se produce polvo.

- Emplazamientos de pulverización de carbón y de su utilización subsiguiente.
- Plantas de coquización.
- Plantas de producción y manipulación de azufre.
- Zonas en las que se producen, procesan, manipulan o empaquetan polvos metálicos de materiales ligeros.
- Almacenes y muelles de expedición donde los materiales pulverulentos se almacenan o manipulan en sacos y contenedores. Zonas de tratamiento de textiles como algodón, etc.
- Plantas de fabricación y procesado de fibras.
- Plantas desmotadoras de algodón. Plantas de procesado de lino.
- Talleres de confección.

Industria de procesado de madera tales como carpinterías.

## 2.6 ¿CÓMO SE PUEDE SABER CUÁL ES SU VELOCIDAD?

Es bueno saber que la velocidad del viento hace disminuir la sensación térmica, y saber si su velocidad va a ser constante

Pero ¿cómo se puede distinguir o saber cuál es la velocidad del viento?

A continuación se describirán las características del viento según su velocidad de acuerdo a la escala Beaufort, La Escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad o velocidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento, como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Escala de Beaufort de los Vientos.**

| Número de Beaufort | Velocidad del viento (km/h) | Nudos (millas náuticas/h) | Denominación | Aspecto del mar                | Efectos en tierra                      |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------------------|--|
| 0                  | 0 a 1                       | < 1                       | Calma        | Despejado                      | Calma, el humo asciende verticalmente  |
| 1                  | 2 a 5                       | 1 a 3                     | Ventolina    | Pequeñas olas, pero sin espuma | El humo indica la dirección del viento |

|   |         |         |                                    |   |   |
|---|---------|---------|------------------------------------|---|---|
| 2 | 6 a 11  | 4 a 6   | <b>Flojito</b> (Brisa muy débil)   | Crestas de apariencia vítrea, sin romper                      | Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos                |
| 3 | 12 a 19 | 7 a 10  | <b>Flojo</b> (Brisa débil)         | Pequeñas olas, crestas rompientes.                            | Se agitan las hojas, ondulan las banderas   |
| 4 | 20 a 28 | 11 a 16 | <b>Bonancible</b> (Brisa moderada) | Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas              | Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles                    |
| 5 | 29 a 38 | 17 a 21 | <b>Fresquito</b> (Brisa fresca)    | Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes        | Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada             |
| 6 | 39 a 49 | 22 a 27 | <b>Fresco</b> (Brisa fuerte)       | Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma | Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas. |
| 7 | 50 a 61 | 28 a 33 | <b>Frescachón</b> (Viento fuerte)  | Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento     | Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento             |
| 8 | 62 a 74 | 34 a 40 | <b>Temporal</b> (Viento duro)      | Grandes olas rompientes, franjas de espuma                    | Se quiebran las copas de los árboles, circulación de                              |

|           |           |         |                                     |   |  |
|-----------|-----------|---------|-------------------------------------|---|--|
|           |           |         |                                     |   | personas<br>difícil  |
| <b>9</b>  | 75 a 88   | 41 a 47 | <b>Temporal fuerte</b> (Muy duro)   | Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada                                 | Daños en árboles, imposible andar contra el viento               |
| <b>10</b> | 89 a 102  | 48 a 55 | <b>Temporal duro</b> (Temporal)     | Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.             | Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones |
| <b>11</b> | 103 a 117 | 56 a 63 | <b>Temporal muy duro</b> (Borrasca) | Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida | Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles         |

## 2.7 DIRECCIÓN DE ACUERDO A LA ORIENTACIÓN Y SU VARIABILIDAD

Al ser el viento una masa que se desplaza contendrá una determinada cantidad de energía debida a su velocidad (energía cinética). Pero, dada su naturaleza no podrá ser almacenado, y debido a que se encuentra en continua variación su carácter resulta casi imprevisible. Debido a esto, la mejor forma de caracterizarlo es por medio de su velocidad media, y sus variaciones.

Dado que estas variaciones de velocidad pueden ser lentas y suaves, o en forma de ráfagas, bruscas y de corta duración, o turbulentas, de carácter aleatorio, las máquinas deben estar preparadas para soportarlas.

En un determinado período de tiempo la velocidad media del viento en un emplazamiento determinado presentará una determinada serie de variaciones que podrá ser descrita por medio de su distribución frecuencia. Por ello, se emplean para modelarla distribuciones probabilísticas continuas, como la de Weibull o la de Rayleigh. Además, se tiene que la desviación típica de estas distribuciones caracteriza lo que se denomina intensidad de turbulencia.

También se sabe que la velocidad media del viento en un lugar depende de la rugosidad del terreno y aumenta con la altura según una ley exponencial a la que se denomina cortadura.

Dicho esto, las principales dificultades encontradas a la hora de aprovechar el viento en la generación eléctrica, son:

- Los problemas eléctricos de estabilidad de la red causados por la variabilidad de la generación.
- La imposibilidad de controlar que la dirección de incidencia del viento sea perpendicular al área barrida por el rotor, lo que disminuye el aprovechamiento aerodinámico.
- La predicción de las condiciones del viento, para la integración de su generación en el mercado eléctrico.
- La variabilidad de la velocidad del viento limita su uso a un rango en el que no es ni demasiado baja, ni demasiado elevada. Dado que una velocidad reducida no produce un balance de energía positivo, o sea, se consume más de lo que se produce, y una velocidad elevada provoca unos elevados esfuerzos mecánicos que imposibilitan su uso.

## **2.8 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUAR EL USO DE LA ENERGIA EOLICA**

Esta sección revisa los requerimientos de datos meteorológicos para una adecuada evaluación del recurso eólico; y por ende dimensionamiento y evaluación de sistemas de conversión de energía eólica para generación eléctrica, bombeo de agua y otros usos potenciales.

Adicionalmente, se mencionan los diversos métodos de adquirir y coleccionar datos meteorológicos de manera generalizada a escala regional o nacional.

## 2.8.1 DATOS METEOROLÓGICOS REQUERIDOS

La información necesaria para evaluar la aplicación de sistemas de conversión de la energía eólica, es:

- ***Velocidad de Viento Promedio Anual (depende de cada país en el centro meteorológico local o a nivel nacional)***: La velocidad de viento promedio por un período largo puede ser utilizada como una primera indicación de la viabilidad de uso de la energía eólica, tabla 2.1
- ***Variaciones Estacionales***: Datos sobre variaciones estacionales de la velocidad de viento (normalmente presentada como promedios mensuales de velocidad de viento) son de importancia para estimar la variación estacional de entrega de energía, y así determinar el mes de diseño crítico (v.g.: mes de menor energía eólica disponible) para la instalación que se desea
- ***Variaciones Diurnas***: Variaciones a lo largo del día pueden tener influencia en la viabilidad de uso de la energía eólica. En lugares que poseen una velocidad de viento baja durante las 24 horas del día, la viabilidad de uso será dudosa. Se puede estudiar los dos ejemplos que siguen; en una región o lugar donde la intensidad del viento es baja durante 16 horas al día, pero presenta vientos de 6 m/s las restantes 8 horas del día, una aplicación eólica puede ser económicamente viable. En otro caso puede ser que a lo largo de las 24 horas del día se registran vientos que no exceden los 2 m/s, en los dos casos presentados, la velocidad promedio diaria no excede los 2 m/s.
- ***Borrascas, vientos extremos***: Datos sobre borrascas y vientos de muy alta intensidad son necesarios para determinar las máximas velocidades de viento en las cuales cualquier equipo de conversión de energía eólica puede ser capaz de aguantar sin presentar daño. Por ejemplo para regiones tropicales y de clima moderado una velocidad de 40 m/s se utiliza generalmente como un valor seguro para operación, en algunos casos 50 m/s se considera seguro.
- ***Períodos de Calma***: Se requiere información sobre períodos largos de baja intensidad del viento para determinar las dimensiones de elementos como baterías o tanques de almacenamiento de agua para suplir suministro de energía cuando el equipo eólico no se encuentre en operación.

- *Distribución de Frecuencia de Velocidades de Viento*: Para realizar un estimativo adecuado de la probable producción de energía de cualquier equipo eólico, la distribución de frecuencia de la velocidad de viento (porcentaje del tiempo en que una velocidad de viento dada ocurre en el año) es de gran utilidad.

Tabla 2.2 Datos climatológicos y vientos dominantes en los estados de la Republica mexicana

**VELOCIDADES REGIONALES DE LAS CIUDADES MAS IMPORTANTES DE MEXICO**

| Ciudad               | Num. Obs. | Velocidades (Km/h)<br>(promedio por año) |                   |                   |                   |                   |
|----------------------|-----------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                      |           | V <sub>2008</sub>                        | V <sub>2007</sub> | V <sub>2009</sub> | V <sub>2010</sub> | V <sub>2011</sub> |
| Acapulco, Gro.       | 12002     | 129                                      | 162               | 172               | 181               | 209               |
| Aguascalientes, Ags. | 1001      | 118                                      | 141               | 151               | 160               | 189               |
| Campeche, Camp.      | 4003      | 98                                       | 132               | 146               | 159               | 195               |
| Cd. Guzman, Jal.     | 14030     | 101                                      | 120               | 126               | 132               | 155               |
| Cd. Juarez, Chih.    | 12340     | 116                                      | 144               | 152               | 158               | 171               |
| Cd. Obregon, Son.    | 26020     | 147                                      | 169               | 177               | 186               | 211               |
| Cd. Victoria, Tamps. | 28165     | 135                                      | 170               | 184               | 197               | 235               |
| Coatzacoalcos, Ver.  | 30027     | 117                                      | 130               | 137               | 145               | 180               |
| Colima, Col.         | 6006      | 105                                      | 128               | 138               | 147               | 174               |
| Colotlan, Jal.       | 14032     | 131                                      | 148               | 155               | 161               | 178               |
| Comitan, Chis.       | 7025      | 72                                       | 99                | 112               | 124               | 160               |
| Cozumel, Q. Roo.     | 23005     | 124                                      | 158               | 173               | 185               | 213               |
| Cuernavaca, Mor.     | 17726     | 93                                       | 108               | 114               | 120               | 139               |
| Culiacan, Sin.       | 25014     | 94                                       | 118               | 128               | 140               | 165               |
| Chapingo, Edo. Mex.  | 15021     | 91                                       | 110               | 118               | 126               | 150               |
| Chetumal, Q. Roo.    | 23006     | 119                                      | 150               | 161               | 180               | 220               |
| Chihuahua, Chih.     | 8040      | 122                                      | 136               | 142               | 147               | 165               |
| Chilpancingo, Gro.   | 12033     | 109                                      | 120               | 127               | 131               | 144               |
| Durango, Dgo.        | 10017     | 106                                      | 117               | 122               | 126               | 140               |
| Ensenada, B. C.      | 2025      | 100                                      | 148               | 170               | 190               | 247               |
| Guadalajara, Jal.    | 14065     | 146                                      | 164               | 170               | 176               | 192               |
| Guanajuato, Gto.     | 11024     | 127                                      | 140               | 144               | 148               | 158               |
| Guaymas, Son.        | 26039     | 130                                      | 160               | 174               | 190               | 237               |
| Hermosillo, Son.     | 26040     | 122                                      | 151               | 164               | 179               | 228               |
| Jalapa, Ver.         | 30075     | 118                                      | 137               | 145               | 152               | 180               |
| La Paz, B.C.         | 3026      | 135                                      | 171               | 182               | 200               | 227               |

|                                 |              |            |            |            |            |            |
|---------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Lagos de Moreno, Jal.</b>    | <b>14083</b> | <b>118</b> | <b>130</b> | <b>135</b> | <b>141</b> | <b>157</b> |
| <b>Leon, Gto.</b>               | <b>11025</b> | <b>127</b> | <b>140</b> | <b>144</b> | <b>148</b> | <b>157</b> |
| <b>Manzanillo, Col.</b>         | <b>6018</b>  | <b>110</b> | <b>158</b> | <b>177</b> | <b>195</b> | <b>240</b> |
| <b>Mazatlan, Sin.</b>           | <b>25062</b> | <b>145</b> | <b>213</b> | <b>225</b> | <b>240</b> | <b>227</b> |
| <b>Merida, Yuc.</b>             | <b>31019</b> | <b>122</b> | <b>156</b> | <b>174</b> | <b>186</b> | <b>214</b> |
| <b>Mexicali, B.C.</b>           | <b>67678</b> | <b>100</b> | <b>149</b> | <b>170</b> | <b>190</b> | <b>240</b> |
| <b>Mexico, D.F.</b>             | <b>9048</b>  | <b>98</b>  | <b>115</b> | <b>120</b> | <b>129</b> | <b>150</b> |
| <b>Monclova, Coah.</b>          | <b>5019</b>  | <b>123</b> | <b>145</b> | <b>151</b> | <b>159</b> | <b>184</b> |
| <b>Monterrey, N.L.</b>          | <b>19052</b> | <b>123</b> | <b>143</b> | <b>151</b> | <b>158</b> | <b>182</b> |
| <b>Morelia, Mich.</b>           | <b>16080</b> | <b>79</b>  | <b>92</b>  | <b>97</b>  | <b>102</b> | <b>114</b> |
| <b>Nvo Casas Gdes, Chih.</b>    | <b>8107</b>  | <b>117</b> | <b>134</b> | <b>141</b> | <b>148</b> | <b>169</b> |
| <b>Oaxaca, Oax.</b>             | <b>20078</b> | <b>104</b> | <b>114</b> | <b>120</b> | <b>122</b> | <b>140</b> |
| <b>Orizaba, Ver.</b>            | <b>30120</b> | <b>126</b> | <b>153</b> | <b>163</b> | <b>172</b> | <b>198</b> |
| <b>Pachuca, Hgo.</b>            | <b>13022</b> | <b>117</b> | <b>128</b> | <b>133</b> | <b>137</b> | <b>148</b> |
| <b>Parral de Hgo., Chih.</b>    |              | <b>121</b> | <b>141</b> | <b>149</b> | <b>157</b> | <b>181</b> |
| <b>Piedras Negras, Coah.</b>    | <b>5025</b>  | <b>137</b> | <b>155</b> | <b>161</b> | <b>168</b> | <b>188</b> |
| <b>Progreso, Yuc.</b>           | <b>31023</b> | <b>103</b> | <b>163</b> | <b>181</b> | <b>198</b> | <b>240</b> |
| <b>Puebla, Pue.</b>             | <b>21120</b> | <b>93</b>  | <b>106</b> | <b>112</b> | <b>117</b> | <b>132</b> |
| <b>Puerto Cortes, B.C.</b>      | <b>3046</b>  | <b>129</b> | <b>155</b> | <b>164</b> | <b>172</b> | <b>196</b> |
| <b>Puerto Vallarta, Jal.</b>    | <b>14116</b> | <b>108</b> | <b>146</b> | <b>159</b> | <b>171</b> | <b>203</b> |
| <b>Queretaro, Qro.</b>          | <b>22013</b> | <b>103</b> | <b>118</b> | <b>124</b> | <b>131</b> | <b>147</b> |
| <b>Rio Verde, SLP.</b>          | <b>24062</b> | <b>84</b>  | <b>111</b> | <b>122</b> | <b>130</b> | <b>156</b> |
| <b>Salina Cruz, Oax.</b>        | <b>20100</b> | <b>109</b> | <b>126</b> | <b>135</b> | <b>146</b> | <b>182</b> |
| <b>Saltillo, Coah.</b>          | <b>5034</b>  | <b>111</b> | <b>124</b> | <b>133</b> | <b>142</b> | <b>165</b> |
| <b>S.C. de las Casas, Chis.</b> | <b>7144</b>  | <b>75</b>  | <b>92</b>  | <b>100</b> | <b>105</b> | <b>126</b> |
| <b>San Luis Potosi, SLP.</b>    | <b>24070</b> | <b>126</b> | <b>141</b> | <b>147</b> | <b>153</b> | <b>169</b> |
| <b>S. la Marina, Tamps.</b>     | <b>28092</b> | <b>130</b> | <b>167</b> | <b>185</b> | <b>204</b> | <b>252</b> |
| <b>Tampico, Tamps.</b>          | <b>28110</b> | <b>129</b> | <b>160</b> | <b>177</b> | <b>193</b> | <b>238</b> |
| <b>Tamuin, SLP.</b>             | <b>24140</b> | <b>121</b> | <b>138</b> | <b>145</b> | <b>155</b> | <b>172</b> |
| <b>Tapachula, Chis.</b>         | <b>7164</b>  | <b>90</b>  | <b>111</b> | <b>121</b> | <b>132</b> | <b>167</b> |
| <b>Tepic, Nay.</b>              | <b>18039</b> | <b>84</b>  | <b>102</b> | <b>108</b> | <b>115</b> | <b>134</b> |
| <b>Tijuana, B.C.</b>            | <b>18565</b> | <b>156</b> | <b>160</b> | <b>158</b> | <b>160</b> | <b>170</b> |
| <b>Tlaxcala, Tlax.</b>          | <b>29031</b> | <b>87</b>  | <b>102</b> | <b>108</b> | <b>113</b> | <b>131</b> |
| <b>Toluca, Edo. de Mex.</b>     | <b>15126</b> | <b>81</b>  | <b>93</b>  | <b>97</b>  | <b>102</b> | <b>115</b> |
| <b>Torreon, Coah.</b>           | <b>5040</b>  | <b>136</b> | <b>168</b> | <b>180</b> | <b>193</b> | <b>229</b> |
| <b>Tulancingo, Hgo.</b>         | <b>13041</b> | <b>92</b>  | <b>106</b> | <b>110</b> | <b>116</b> | <b>130</b> |

|                                |              |            |            |            |            |            |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Tuxpan, Ver.</b>            | <b>30190</b> | <b>122</b> | <b>151</b> | <b>161</b> | <b>172</b> | <b>204</b> |
| <b>Tuxtla Gutierrez, Chis.</b> | <b>7165</b>  | <b>90</b>  | <b>106</b> | <b>110</b> | <b>120</b> | <b>141</b> |
| <b>Valladolid, Yuc.</b>        | <b>31036</b> | <b>100</b> | <b>163</b> | <b>180</b> | <b>198</b> | <b>240</b> |
| <b>Veracruz, Ver.</b>          | <b>30192</b> | <b>150</b> | <b>175</b> | <b>185</b> | <b>194</b> | <b>222</b> |
| <b>Villahermosa, Tab.</b>      | <b>27083</b> | <b>114</b> | <b>127</b> | <b>132</b> | <b>138</b> | <b>151</b> |
| <b>Zacatecas, Zac.</b>         | <b>32031</b> | <b>110</b> | <b>122</b> | <b>127</b> | <b>131</b> | <b>143</b> |

Una fuente natural de información son los registros de viento realizados por el servicio nacional de meteorología (IDEAM, antiguo HIMAT) pero esta información debe ser estudiada con extremo cuidado. Muchas veces, el servicio meteorológico recauda información eólica en aeropuertos y los datos son colectados a 10 metros de altura sobre la superficie; o en otros casos, la medición de viento es realizada con fines agrometeorológicos y no energéticos, en medio de poblaciones con sistemas anticuados (descalibrados) y mal localizados con respecto al viento. Así pues, al estudiar los registros meteorológicos, es típico encontrar en el mejor de los casos, en la mayoría de las estaciones, promedios anuales de velocidad de viento entre 2 y 3 m/s los cuales quizás no corresponden a la condición real de viento en la región, ya que como se mencionó anteriormente, la ubicación de la estación meteorológica y/o el tipo de registradores no son los más adecuados para medir el recurso eólico. En consecuencia, no se puede planificar ningún tipo de proyecto eólico con base a esta información histórica, a menos que se verifique su precisión, la cual generalmente, es una dificultad adicional. No es recomendable utilizar información de datos de viento suministrada por estaciones agrometeorológicas, esto se debe a que la estación agrometeorológica cuenta con instrumental meteorológico Standard, para realizar las mediciones; temperatura del aire y del suelo a varias profundidades, precipitación, evaporación. Mucha de la información proporcionada por estas estaciones es de poca utilidad para evaluar el recurso eólico; ya que son mediciones realizadas a 2 metros de altura sobre la superficie, en lugares generalmente no expuestos adecuadamente al viento. La evaluación del potencial energético eólico de una zona, es una labor que requiere tiempo además de recursos económicos para realizarse adecuadamente. Es necesario coleccionar datos meteorológicos por lo menos durante un año, si se desea realizar una prospección con cierto grado de certidumbre. A diferencia de la evaluación del recurso solar, donde se pueden cubrir mayores áreas con la evaluación de los parámetros meteorológicos; el recurso eólico, por su propia naturaleza, tiene un comportamiento específico en el lugar y presenta variaciones espaciales substanciales. Esto quiere decir que al realizar mediciones puntuales en un sitio, las magnitudes de la velocidad de viento y su dirección, en una distancia de 100

metros, pueden ser diferentes, sin embargo puede existir una variación numérica proporcional entre sus magnitudes y su comportamiento, en general.

La adecuada determinación de la variación del recurso eólico en un año permite dimensionar el tamaño del equipo eólico para un requerimiento dado de energía. Al mismo tiempo, al conocerse los períodos largos de calma, se identificará la necesidad de almacenamiento de energía durante varios días, o en su defecto la necesidad de instalar un sistema alternativo de generación como un sistema fotovoltaico o un equipo diesel asociado para el suministro confiable de energía. Así pues, la estrategia que se utilice para evaluar el recurso estará acorde con las necesidades energéticas del lugar, ya que al requerirse entrega de energía para una población pequeña, el nivel de sofisticación de la evaluación será mayor, al compararse con la necesidad de entregar energía a pequeños consumidores individuales. Esto traduce que, para instalar pequeños sistemas eólicos individuales, un estimativo cercano a la velocidad promedio anual de viento en el lugar será suficiente y menos costoso que un programa detallado de evaluación.

Por el contrario, si se está planeando instalar una granja eólica para conexión a la red eléctrica, la inversión en el equipo de medición y los costos asociados son fuertemente justificados. La experiencia en esta última circunstancia, en los Estados Unidos, es que la evaluación sistemática para instalación de granjas eólicas (suministro mayor del megavatio) cuesta alrededor del cinco por ciento (5%) del costo total del sistema eólico.

La producción de energía eólica todavía es muy limitada en México, así como muchas otras que son con energías renovable, aunque se estima que el potencial del país se encuentra por encima de 40.000 MW. La CFE cuenta con dos plantas eólicas en funcionamiento, Parque Eólico La Venta y Guerrero Negro, que tienen una capacidad combinada de 86 MW. El potencial eólico en el estado de Oaxaca es de 33.200 MWe. Otros estados con potencial eólico son Zacatecas, Hidalgo y Baja California.

Se calcula que la inversión pública en energía eólica para el período 2006-2015 será de 791 millones US\$

## **2.9 ESTIMACION DE LA ENERGIA EOLICA**

Cuando se tiene información confiable sobre el régimen de viento en un lugar, ésta deberá ser analizada adecuadamente, para ser combinada con las características de generación de un equipo; pudiéndose estimar, entonces, la cantidad de energía que puede suministrar el equipo eólico en el lugar seleccionado. La Tabla siguiente (Power

Guide, 1994) indica las posibilidades de uso de la energía eólica, con base a valores promedios de velocidad de viento anual.

## 2.10 RELACIONES GENERALES ENTRE VIABILIDAD Y VELOCIDAD DE VIENTO PARA SU USO COMO FUENTE DE ENERGÍA

Debe ser claro, que la Tabla 2.1 es una indicación de rápida referencia y no pretende ser completamente concluyente.

Tabla 2.1 posibilidades de uso de la energía eólica

| Promedio Anual de Velocidad de Viento 10 metros de altura | Posibilidad de Uso de la Energía   |
|---|--|
| Menor a 3 m/s   | Usualmente no es viable, a menos que existan circunstancias especiales para evaluar mejor el recurso   |
| 3-4 m/s   | Puede ser una buena opción para equipos eólicos de bombeo de agua (aerobombeo), poco viable para generación eléctrica con equipos eólicos (aerogeneración) |
| 4-5 m/s   | Aerobombas son competitivas económicamente a los equipos Diesel aerogeneración con equipos autónomos es viable   |
| Mas de 5 m/s  | Viable para aerobombeo y aerogeneración con sistemas autónomos   |
| Más de 6 m/s  | Viable para aerobombeo, aerogeneración con sistemas autónomos y para sistemas conectados a la red eléctrica  |

## 2.11 TRATADO DE KYOTO

El tratado de Kyoto es un acontecimiento clave en el desarrollo de la energía eólica por la fuerte preocupación del sobre calentamiento global.

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) de 1992 se definió la legislación internacional relacionada con los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), los cuales se basan en reducir emisiones o capturar

carbono. En 1997 se realizó la tercera conferencia de las partes de CMCC, la cual tuvo lugar en Kyoto, donde se especificó el marco jurídico aplicable y se incluyeron las decisiones adoptadas por las diferentes partes, que contemplan guías técnicas y de procedimiento.

Este fenómeno tiene como responsable a los gases invernadero que crean una capa capaz de retener radiaciones y por ende generar un aumento de la temperatura promedio de la tierra. El sobrecalentamiento es responsable de cambios climáticos que conllevan desastres colosales en todo el mundo.

Establecido en 1997, el Protocolo de Kyoto es un tratado internacional cuyo objetivo principal es lograr que entre los años 2008 y 2012 los países disminuyan sus emisiones de gases de efecto invernadero a un 5 % menos del nivel de emisiones del año 1990.

Si un país fallara en cumplir este mandato podría ser forzado a reducir su producción industrial. Si bien en sus inicios el Protocolo carecía de especificaciones, a partir de las reuniones negociadoras de Marruecos a Inés del año 2001, se definieron cinco puntos principales: compromisos legalmente vinculantes para países desarrollados; métodos de implementación del Protocolo diferentes de la reducción de emisiones (implementación conjunta); minimización de impacto en países en desarrollo (incluyendo asistencia en diversificar sus economías); reportes y revisiones por un equipo de expertos y cumplimiento evaluado por un comité.

El gas más importante, por lo menos considerando volumen de emisión, es el dióxido de carbono. La relación entre las emisiones y la generación de energía reside en el hecho que todas las centrales térmicas, exceptuando la geotérmica y la nuclear, emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

Tomando muy seriamente la ratificación del tratado de Kyoto, la CEE ha invertido mucho esfuerzo en la tarea de reducción de emisiones instalando aerogeneradores para explotar el recurso eólico. El crecimiento del parque generador eólico en los últimos años ha sido exponencial. En el puede apreciar el paulatino incremento de la potencia instalada en EEUU, esto puede ser visto como una falta de interés sobre la energía eólica por parte de este país con respecto al gigantesco esfuerzo realizado por la CEE. Este desinterés se manifiesta concretamente en la negación a ratificar el Protocolo de Kyoto. Para EEUU la reducción de emisiones no es prioritaria y por lo tanto la generación eólica tampoco. Aun así, EEUU sigue siendo uno de los países con una importante potencia instalada en aerogeneradores pero no tiene particular incidencia considerando la magnitud de su sistema interconectado.

Respecto a las otras energías renovables, la que se obtiene del viento es la que ha tenido mayor éxito en cuanto a su aplicación y expansión. Se sigue invirtiendo en

investigación y siguen apareciendo aerogeneradores siempre mas grandes. Se resuelven problemas técnicos de contaminación acústica y se implementan granjas eólicas de centenares de MW de potencia en el mar (donde se encuentran condiciones de viento mas favorables), donde no se sacrifica superficie continental y la contaminación visual no agrede a la población.

La tecnología que envuelve la generación eólica es la que ha tenido el más rápido crecimiento dentro de las energías renovables.

## **2.12 TECNOLOGIA EOLICA**

Como ya se menciona la energía eólica es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire es decir del viento. En la tierra el movimiento de las masas de aire se deben principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de esta, moviéndose de alta a baja presión, este tipo de viento se llama viento geoestrófico.

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento a nosotros nos interesa mucho mas el origen de los vientos en zonas mas especificas del planeta, estos vientos son los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debida a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra , también están los llamados vientos de montaña que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la ladera de la montaña o baje por esta dependiendo si es de noche o de día.

*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 e 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.

La energía eólica es una energía 100% renovable y 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 electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ningún contaminante 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 ningún tipo de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La generación de electricidad 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.

### **2.13 INSTALACIONES QUE UTILIZAN ENERGÍA EÓLICA**

Las instalaciones más frecuentes son de baja potencia y emplean tecnologías confiables en las que es necesario un mantenimiento básico. En estas instalaciones de baja potencia, las aeroturbinas empleadas son aerogeneradores de alta velocidad y se emplean normalmente para suministro eléctrico a viviendas aisladas o rurales.

La instalación consta de uno o varios aerogeneradores que alimentan un cuadro de carga y de un conjunto de baterías dimensionadas según la temporización de la demanda. Estas, permiten garantizar el aporte energético realizado por la instalación.

En general las baterías más utilizadas son las de plomo-ácido pudiendo presentarse selladas (sin mantenimiento) o abiertas, siendo en principio para este uso, más recomendables las abiertas como se muestra en la figura 2.4. De cara a su empleo es necesario conocer conceptos como: capacidad (cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo), voltaje nominal (6, 12 ó 24 V), eficiencia de carga (relación entre la energía suministrada por el acumulador en relación a la carga máxima acumulada a partir de dicha carga máxima).

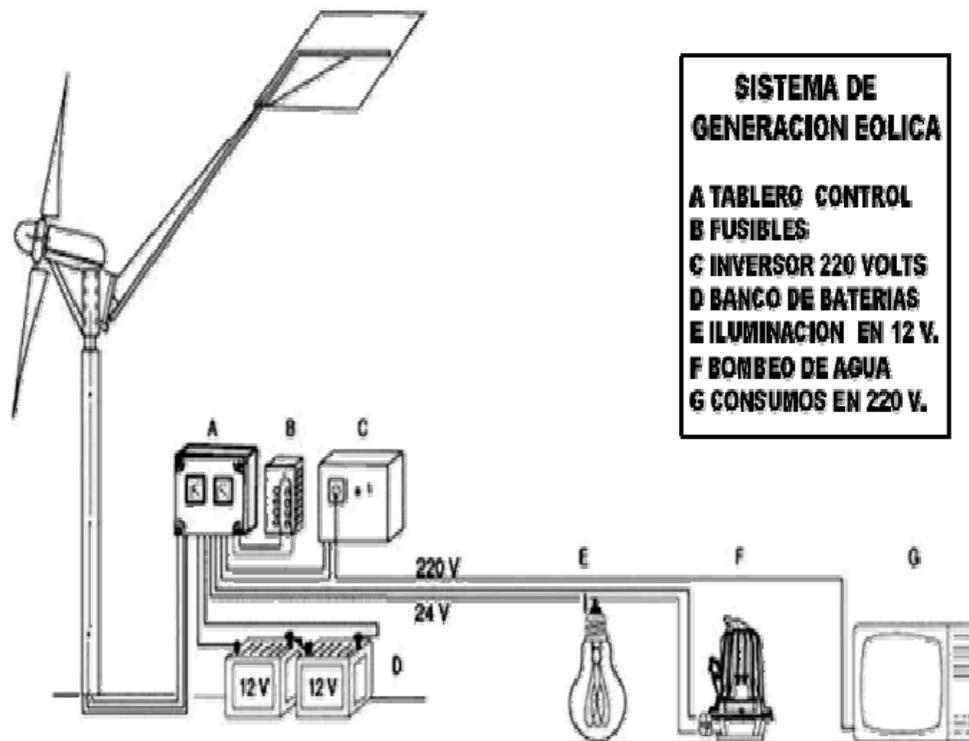


Fig. 2.4 Sistema de generación eléctrica, utilizando un aerogenerador.

La incorporación a la instalación de reguladores de carga de los acumuladores, que impidan que la batería siga recibiendo energía una vez que haya alcanzado su carga máxima o evitar que se agote en exceso la batería. Igualmente al incluir convertidores e inversores eléctricos, para adaptar las características de la corriente generada a la demandada por el centro de consumo, elementos de protección u operación como son interruptores, fusibles, indicadores de nivel de carga, etc.

Este tipo de instalaciones pueden ser atendidas directamente por sus propietarios ya que precisan muy poco mantenimiento. Además, frecuentemente son ampliables, en cuanto a la capacidad de acumulación cuando la demanda energética se incrementa, siempre que en el emplazamiento exista el nivel eólico necesario o la alta demanda se produzca de forma puntual, por ejemplo para uso energético sólo en viviendas de fin de semana.

Cuando la instalación aislada se diseña para proporcionar suministro eléctrico y la demanda de energía o es grande o debe ser permanente, se recurre a las llamadas instalaciones mixtas que frecuentemente suelen ser:

- Instalaciones eólico-fotovoltaicas, en las que el aerogenerador(es) está interconectado a una serie de paneles fotovoltaicos.
- Instalaciones eólico-diesel, normalmente con mayor potencia que las

anteriores, instalándose en ellas un aerogenerador interconectado con un grupo diesel.

Este tipo de instalaciones cuentan con tecnología desarrollada y fiable cuando se trata de suministro eléctrico a viviendas aisladas, contando con baterías de acumulación y aportación energética adicional mediante paneles fotovoltaicos o turbinas hidráulicas. Existen en el mercado aerogeneradores de tamaño comprendidos entre 20 W y 10.000 W, siendo los más empleados los tamaños de 50 a 1.500 W.

A nivel general, los minigeneradores tienen una estructura análoga a las de los grandes aerogeneradores, si bien su construcción es muchísimo más simple utilizando sistemas de orientación pasiva, alternadores sin presencia de multiplicadores, etc. Pueden presentar sistemas de control de potencia mecánicos bien mediante inclinación del rotor o cambio de paso de pala.

El tamaño y tipo de instalación depende únicamente de las necesidades del usuario de la instalación. En la figura 2.5 se muestra un sistema eólico donde además de bombear el agua a un tanque de reserva, se suministra electricidad a toda la casa. El sistema puede complementarse con un colector solar, destinado a la producción de agua caliente para el suministro a los diversos artefactos sanitarios.



Fig. 2.5 Detalle esquemático del uso múltiple de la energía eólica

Los aerogeneradores o turbinas de viento fueron diseñados para aprovechar la fuerza del viento y, de ese modo, producir energía que es la que la que conocemos como energía eólica.

El viento impulsa una hélice que está montada sobre un eje que está, a su vez, conectado sistemas mecánicos para bombear agua, moler grano o producir electricidad. Por lo general, se trata de dos o tres palas que giran alrededor de un eje horizontal.

En los molinos de viento diseñados para producir electricidad, la hélice hace girar un generador eléctrico a través de una caja de cambios de velocidades.

Desde 1975, existe un nuevo tipo de aerogeneradores, sobre todo con el objetivo de proveer electricidad. Para aumentar la potencia eólica, el diámetro de las palas ha aumentado progresivamente y a medida que crecían el material con el que se construían se alivianaba (metal, fibra de carbono) ya que la potencia eólica es proporcional al área barrida por la hélice. Hélices de 30 a 60 metros son comunes para una potencia unitaria de 1,5 a 2 megavatios (MW).

La potencia nominal eólica corresponde al número de kilovatios que ésta puede producir en condiciones óptimas durante una hora. Por lo tanto, una turbina eólica con una potencia nominal de 1500 KW, funcionando a plena capacidad, producirá 1.500 KW en una hora.

La hélice situada en la parte superior puede alcanzar más de 120 metros de altura. El viento ya no se detiene por sus asperezas.

## **CAPÍTULO III**

# **PROCESOS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A TRAVÉS DE ENERGÍA EÓLICA.**

La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Desde que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o del Primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado Tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos. En general los sistemas de generación se diferencian por el periodo del ciclo en el que está planificado que sean utilizados; se consideran de base la nuclear y la eólica, de valle la termoeléctrica de combustibles fósiles, y de pico la hidroeléctrica principalmente (los combustibles fósiles y la hidroeléctrica también pueden usarse como base si es necesario).

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

Por otro lado, un 64% de los directivos de las principales empresas eléctricas consideran que en el horizonte de 2018 existirán tecnologías limpias, asequibles y renovables de generación local, lo que obligará a las grandes corporaciones del sector a un cambio de mentalidad

### 3.1 GENERACION DE ELECTRICIDAD

La Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

El término *eólico* viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. 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.

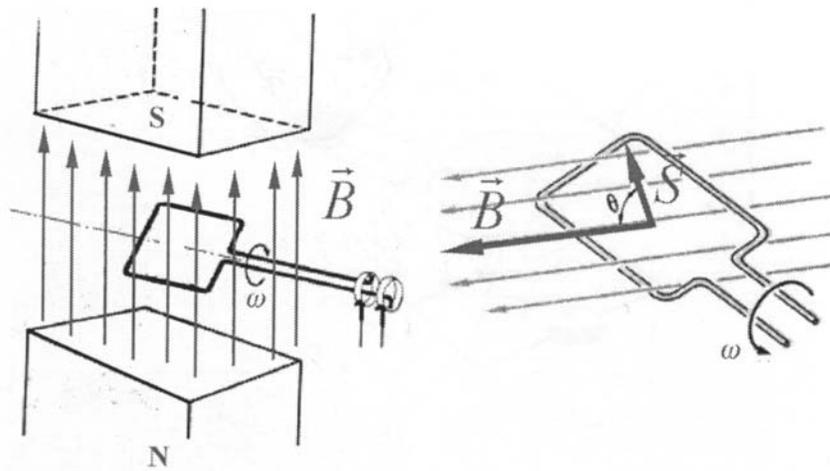
En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 Gigawatts. En 2009 la eólica generó alrededor del 2% del consumo de electricidad mundial, cifra equivalente a la demanda total de electricidad en Italia, la séptima economía mayor mundial. En España la energía eólica produjo un 11% del consumo eléctrico en 2008, y un 13.8% en 2009. En la madrugada del domingo 8 de noviembre de 2009, más del 50% de la electricidad producida en España la generaron los molinos de viento, y se batió el récord total de producción, con 11.546 megawatts eólicos.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

### 3.2 GENERADORES

Un generador (Figura. 3.1) consta, en su forma más simple de:

- Una espira que gira impulsada por algún medio externo.
- Un campo magnético uniforme, creado por un imán, en el seno del cual gira la espira anterior.



**Fig. 3.1 Generador ideal de energía eléctrica**

A medida que la espira gira, el flujo magnético a través de ella cambia con el tiempo, induciéndose una fuerza electromotriz, y si existe un circuito externo, circulará una corriente eléctrica.

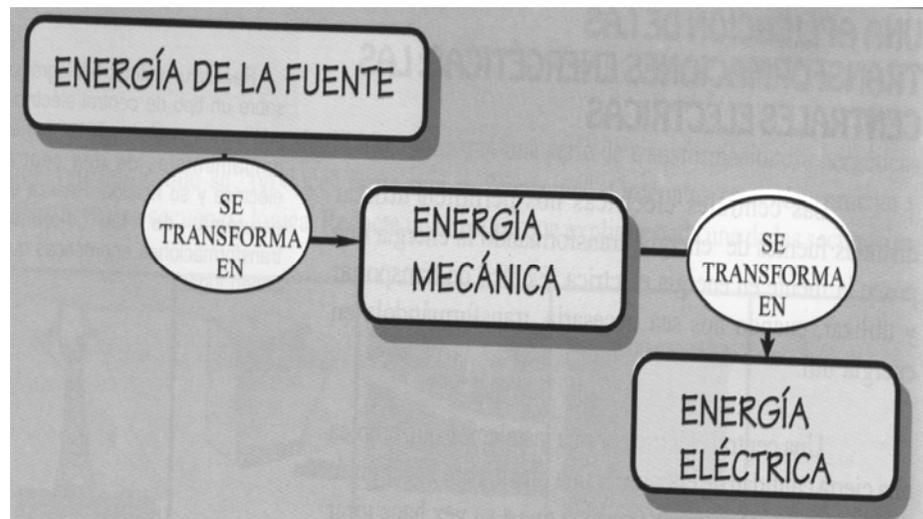
Para que un generador funcione, hace falta una fuente externa de energía (hidráulica, térmica, nuclear.) que haga que la bobina gire con una frecuencia deseada.

### 3.3 CENTRAL ELÉCTRICA

Una central es una instalación capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica. Las principales fuentes para la generación de energía son: el agua (Energía Hidráulica), el gas natural, el petróleo y el carbón (Energía Termoeléctrica), así como el uranio (Energía Nuclear). Existen otras fuentes de uso menos común como la materia orgánica residual (Biomasa), el viento (Energía Eólica) y los rayos solares (Energía Solar), a estas las llamaremos energías limpias al igual que la hidroeléctrica no producen muchos contaminantes.

Estas fuentes de generación permiten el movimiento de una turbina por acción del agua o del vapor, la misma que a su vez hace girar un generador. Al moverse hace que a su vez gire la bobina en el interior de un campo magnético, produciéndose así la electricidad.

En la figura 3.2 podemos considerar que:



**Fig. 3.2 Diagrama a bloques de la generación de electricidad.**

Para realizar la conversión de energía mecánica en eléctrica, se emplean unos generadores, que constan de dos piezas fundamentales:

- El estator: Armadura metálica, que permanece en reposo, cubierta en su interior por unos hilos de cobre, que forman diversos circuitos.
- El rotor: Está en el interior del estator y gira accionado por la turbina. Está formado en su parte interior por un eje, y en su parte más externa por unos circuitos, que se transforman en electroimanes cuando se les aplica una pequeña cantidad de corriente.

### **3. 4 CENTRALES EÓLICAS**

El aprovechamiento de la energía del viento es antiguo pero en los últimos años se ha desarrollado mucho, aprovechando los progresos en aerodinámica y electrónica de los reguladores. En general, las provincias Argentinas de la región patagónica cuentan con vientos importantes y constantes, por lo que son muy promisorios para la implantación de granjas eólicas, que son grupos grandes de generadores reunidos en un área favorable.

Las estimaciones de los investigadores dicen que debajo del paralelo 42 se podría disponer de una potencia del orden de 1 Mw. por Km.2, cifra muy significativa, si se tiene lo dilatado de la región.

Las turbinas eólicas que aparecen en la figura 3.3 se basan en la acción del viento sobre palas. El viento produce dos efectos: arrastre y sustentación. Hay turbinas

que actúan por uno u otro efecto o por una combinación de ambos.

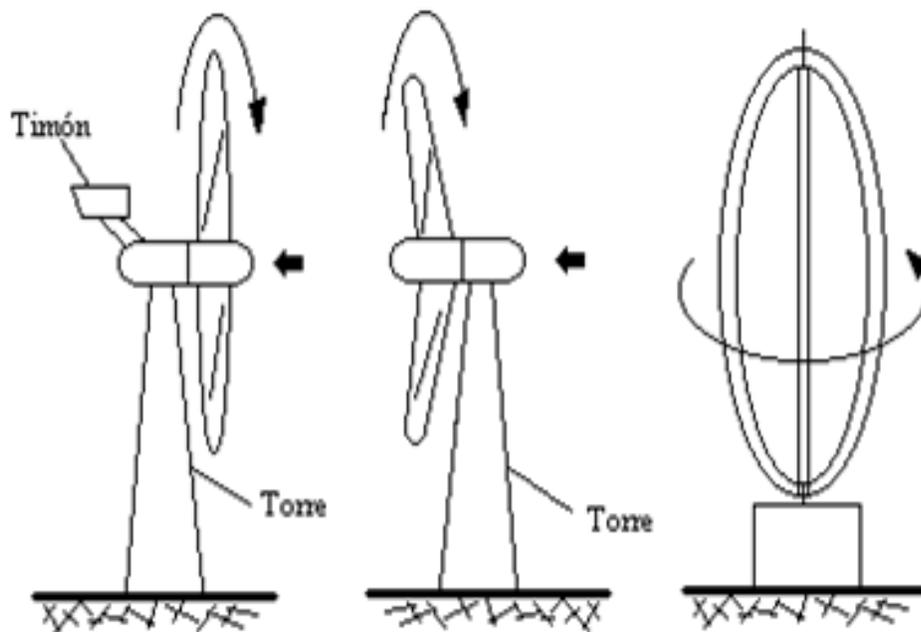


Fig. 3.3 Las turbinas eólicas

### 3.5 GENERADORES ELÉCTRICOS, AEROGENERADORES.

El rotor convierte la fuerza del viento en energía rotatoria del eje, una caja de engranajes aumenta la velocidad y un generador transforma la energía del eje en energía eléctrica.

Tienen un tamaño mediano (de 15 a 30 metros de diámetro, con una potencia entre 100 y 400 Kw.) Algunas veces se instalan en filas y se conocen entonces como granjas de viento.

Existen muy buenas razones para convertirse en propietario de aerogeneradores. Las turbinas son una de las mejores inversiones del momento, los propietarios obtienen un plus financiero y además contribuyen a proteger la naturaleza contra la polución que se generaría al producir energía por medios convencionales. De usarse una central térmica alimentada con carbón, la producción de un aerogenerador de gran tamaño supondría para el medio ambiente su polución con toneladas de dióxido de azufre, compuestos nitrogenados, dióxido de carbono, partículas en suspensión y polvo negro.

### 3.5.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS EÓLICAS.

Las máquinas eólicas han sido estudiadas por el hombre en forma intensiva y dentro de ellas existen en la actualidad diferentes tipos que van desde pequeñas potencias, a las grandes máquinas americanas y alemanas de varios MW.

Son numerosos los dispositivos que permiten el aprovechamiento de la energía eólica, pudiéndose hacer una clasificación de los mismos según la posición de su eje de giro, respecto a la dirección del viento.

En las máquinas eólicas de eje horizontal, para obtener en las palas una velocidad angular regular y uniforme ( $\omega$ ) para una determinada velocidad del viento  $V$  se requiere que tanto la dirección del viento, como su velocidad, se mantengan constantes con respecto a las palas.

Por el contrario, en las máquinas eólicas de eje vertical, manteniendo las mismas condiciones regulares en la velocidad del viento y en la velocidad angular de las palas, resulta que éstas pueden estar sometidas a un viento aparente de dirección y velocidad continuamente variables, por lo que en estas máquinas, el flujo aerodinámico resulta ser muy complicado, ignorándose en muchas ocasiones las verdaderas posibilidades de las mismas.

Las máquinas eólicas se pueden clasificar en:

*A. Por su potencia nominal.*

- Baja Potencia  $< 3$  KW (equivalente eléctrico).
- Media Potencia  $< 30$  kW (equivalente eléctrico).
- Alta potencia  $>100$  kW (equivalente eléctrico).

*B. Por la orientación del rotor.*

- Eje vertical.
- Eje horizontal.

*C. Por el mecanismo de regulación de potencia.*

- De paso variable.
- Basculación del rotor.
- Pérdida aerodinámica de la pala.

D. Por el tipo de generador eléctrico.

- Generador de corriente continua.
- Generador de corriente alterna (síncrono y asíncrono).

E. Por el número y tipología de palas.

- Bipalas.
- Tripalas.
- Multipalas.

LA CLASIFICACIÓN MÁS COMÚN Y DIFUNDIDA DE LAS MÁQUINAS EÓLICAS SON LA DE EJE HORIZONTAL Y LAS DE EJE VERTICAL

### **3.5.2 PARTES DE UN AEROGENERADOR**

Un aerogenerador eólico es una máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica. Las partes de un aerogenerador que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica se encuentran en la góndola, que sirve para proteger esos componentes claves.

El funcionamiento de un aerogenerador es muy sencillo. El viento mueve las palas del aerogenerador y a través de un sistema mecánico de engranajes hacen girar el rotor. La energía mecánica rotacional del rotor es transformada en energía eléctrica por el generador.

Las partes principales de un aerogenerador como se muestra en la figura 3.4 son:

1. La góndola carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador
2. Las palas del rotor que transmiten la potencia del viento hacia el buje.
3. El buje que es la parte que une las palas del rotor con el eje de baja velocidad.
4. Eje de baja velocidad que conecta el buje del rotor al multiplicador. Su velocidad de giro es muy lenta.
5. El multiplicador, permite que el eje de alta velocidad gire mucho más rápido que el eje de baja velocidad.
6. Eje de alta velocidad, gira a gran velocidad y permite el funcionamiento del generador eléctrico.
7. El generador eléctrico que es una de las partes más importantes de un aerogenerador. Transforma la energía mecánica en energía eléctrica

8. El controlador electrónico, es un ordenador que monitorea las condiciones del viento y controla el mecanismo de orientación.
9. La unidad de refrigeración, mecanismo que sirve para enfriar el generador eléctrico.
10. La torre que es la parte del aerogenerador que soporta la góndola y el rotor.
11. El mecanismo de orientación, está activado por el controlador electrónico, la orientación del aerogenerador cambia según las condiciones del viento.

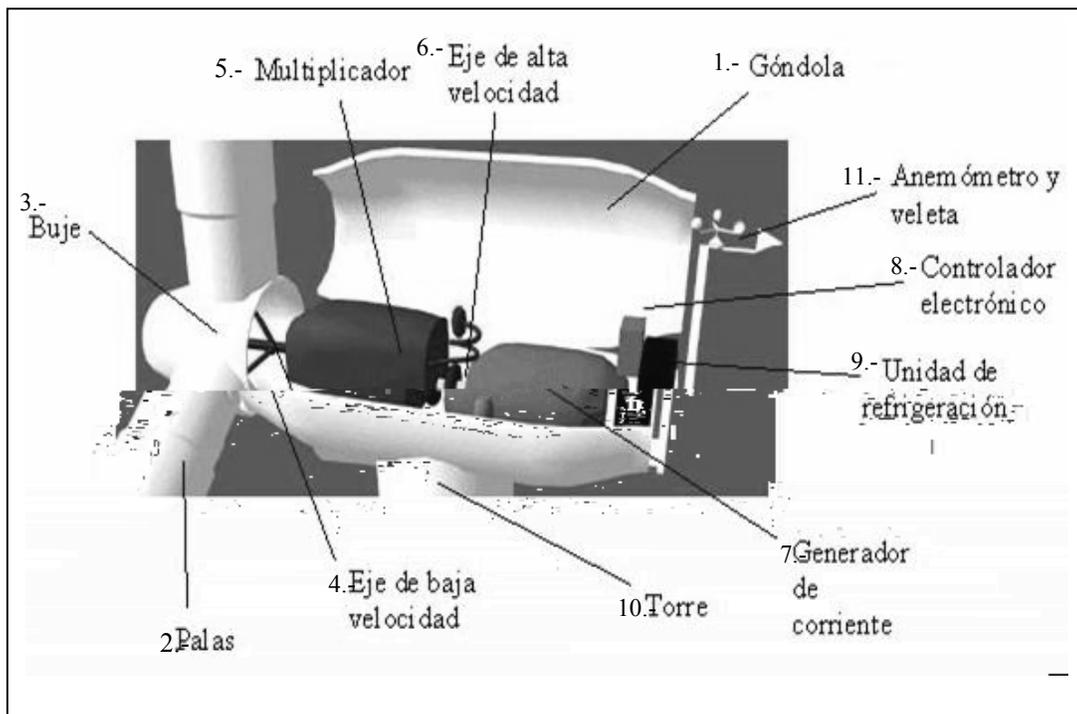


Fig. 3.4 Las partes principales de un aerogenerador

Los componentes de un aerogenerador se muestran en la figura 3.5:

*Torre.* Soporta la góndola que es donde se encuentran la mayoría de componentes principales del aerogenerador. La torre permite que las palas estén a la altura mas apropiada para obtener el máximo rendimiento posible.

*Las palas del rotor.* Componente del aerogenerador que transmite la energía cinética del viento al buje. En su mayoría los aerogeneradores tienen tres palas.

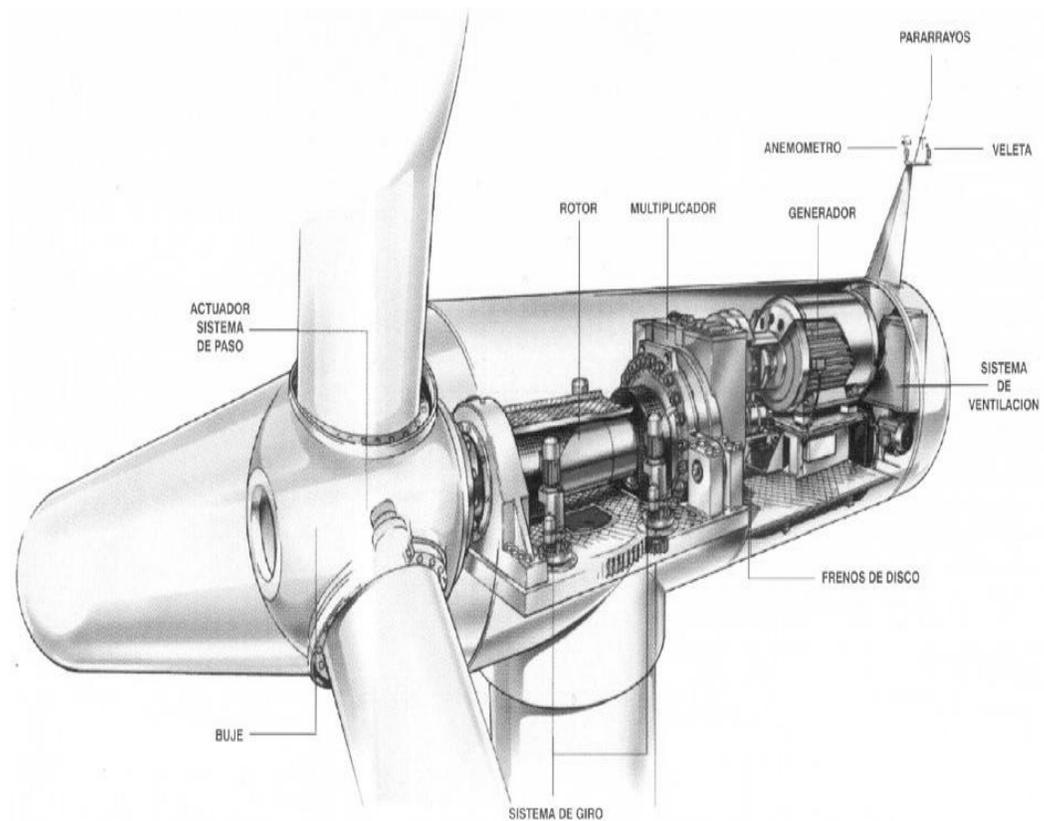
*Buje del rotor.* Une las palas al eje del aerogenerador.

*Eje de baja velocidad.* En los grandes aerogeneradores el rotor gira muy lento entre 20 y 50 rpm.

*Caja de engranajes o multiplicador.* Componente del aerogenerador que transforma la baja velocidad del eje en alta velocidad de rotación.

*Generador.* Uno de los componentes principales. Gracias a la alta velocidad de rotación del eje se genera la electricidad.

*Sistema de control.* Componentes que controlan el correcto funcionamiento del aerogenerador. Anemómetros, veletas, mecanismos de orientación, unidades de refrigeración, sistemas de control de potencia, etc.



**Fig. 3.5** los componentes de un aerogenerador

### 3.6 AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento. No es necesario que dispongan de ningún mecanismo de orientación ante cambios de la dirección del viento. Son ideales en zonas de viento débil.

La máxima desventaja del aerogenerador de eje vertical es su bajo rendimiento, debido a la resistencia que las palas ofrecen al viento y a la poca altura que se encuentra el rotor.

Los aerogeneradores verticales más habituales son el aerogenerador Darrieus y el aerogenerador Savonius como se muestra en la imagen 3.6 .

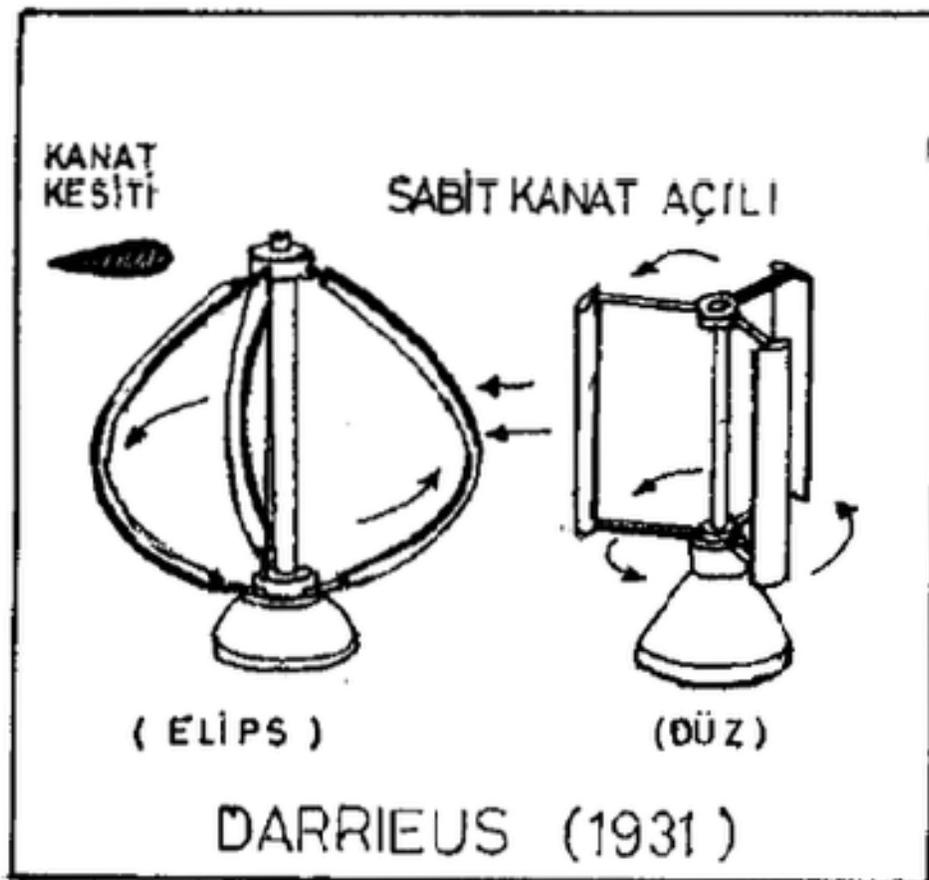


Fig. 3.6 Aerogeneradores Darrieus y Savonius

### 3.6.1 AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL

La principal característica de un aerogenerador de eje horizontal es que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo.

Los aerogeneradores horizontales tienen su eje de rotación principal en la parte superior de una torre y necesitan un mecanismo de orientación para hacer frente a los cambios bruscos en la dirección del viento.

En la actualidad la mayor parte de aerogeneradores comerciales son de eje horizontal (figura 3.7) debido al mayor rendimiento que producen con respecto a los aerogeneradores de eje vertical.

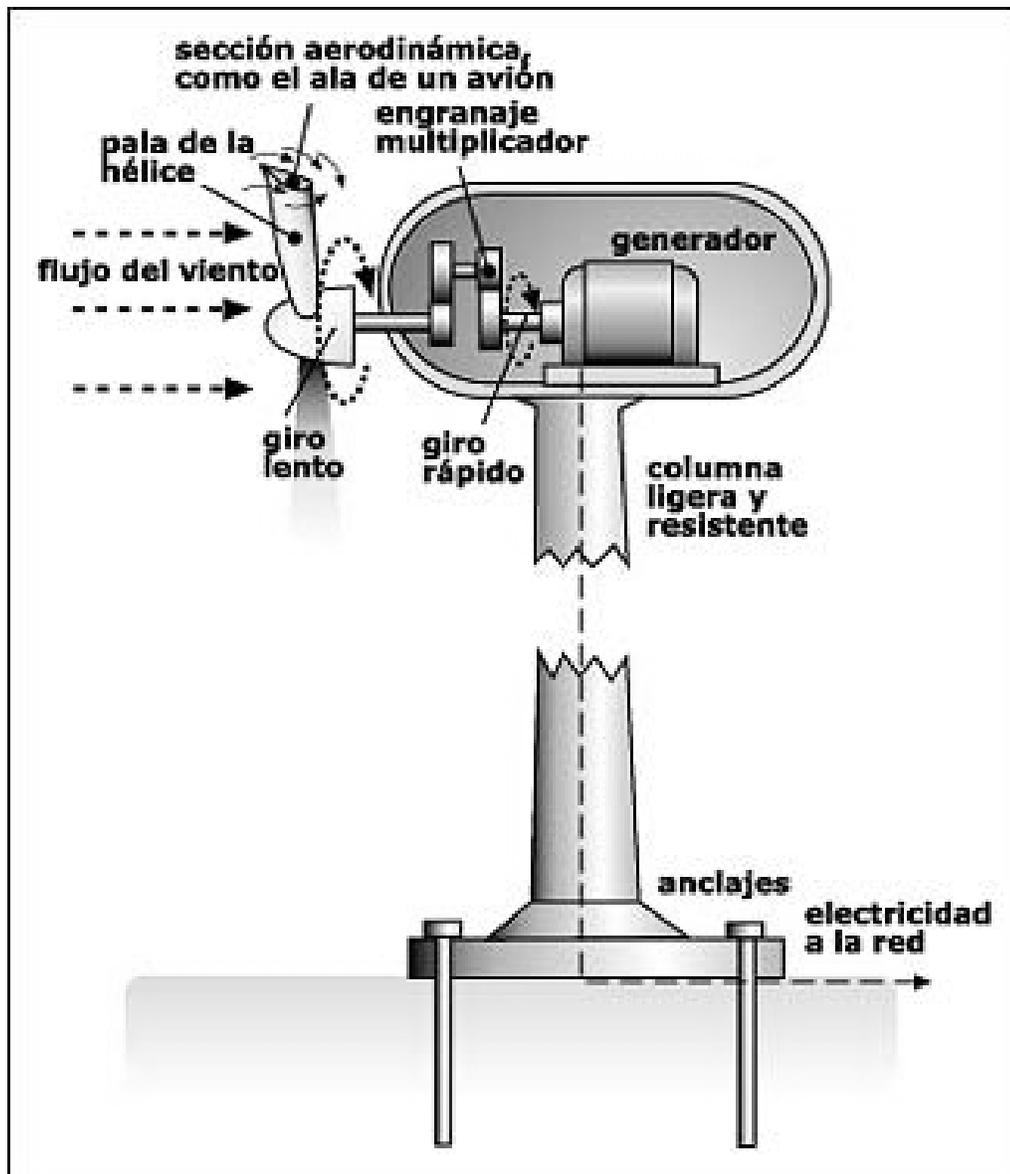


Fig 3.7 aerogenerador de eje horizontal

### 3.7 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

Los molinos de viento, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica.

Aunque existen dos tipos básicos de molinos, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo así como su clasificación diversa. La captación de la energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través de un elemento denominado cubo (conjunto que recibe el nombre de rotor). El principio aerodinámico, por el cual este conjunto gira, es similar al que hace que los aviones vuelen como se muestra en la figura 3.8 .

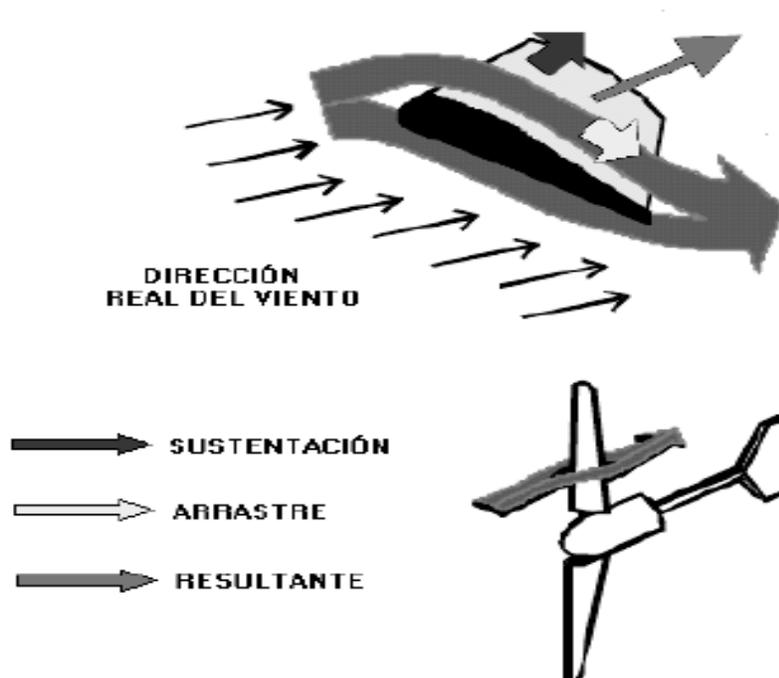


Fig. 3.8 Fuerzas de sustentación y arrastre.

Según este principio, el aire que es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante (R) que actúa sobre el perfil.

Descomponiendo esta fuerza en dos direcciones se obtiene:

- a) La fuerza de sustentación (s), o simplemente sustentación, de dirección perpendicular al viento.
- b) La fuerza de arrastre (a), de dirección paralela al viento.

Para favorecer la circulación del aire sobre la superficie de las palas, evitar la formación de torbellinos y maximizar la diferencia de presiones, se eligen perfiles de pala con formas convenientes desde el punto de vista aerodinámico. Según como estén

montadas las palas con respecto al viento y al eje de rotación, la fuerza que producirá el par motor será predominantemente la fuerza de arrastre o la de sustentación. Con excepción de las panémonas y los rotores tipo Savonius, en todas las máquinas modernas la fuerza dominante es la de sustentación pues permite obtener, con menor peso y costo, mayores potencias por unidad de área del rotor. Analizaremos únicamente el comportamiento aerodinámico de las turbinas eólicas cuyo par motor está originado por las fuerzas de sustentación.

Como la fuerza de sustentación es la única que dará origen al par o cupla motora habrá que diseñar el perfil y ubicar las palas dándole un ángulo de ataque ( $\alpha$ ) que haga máxima la relación fuerza de sustentación/fuerza de arrastre.

Este análisis simple es solo válido cuando las palas de un molino están en reposo. Al permitir el giro del rotor, la fuerza resultante sobre las palas será el resultado de la combinación de la acción directa del viento real ( $U$ ) y la acción del "viento" ( $V$ ) creado por las propias palas al girar. Dicho con otras palabras, el viento que "ven" las palas no es más el viento real ( $U$ ) sino el llamado viento aparente ( $V_r$ ), resultante de la composición de los vectores  $V$  y  $U$ . Como cada sección de una pala tiene velocidad diferente del viento aparente también varía en el sentido longitudinal; por lo tanto, una pala ideal deberá presentar un ángulo de incidencia diferente a lo largo de toda su longitud, efecto que se logra dándole un alabeo como se muestra en la figura 3.9. Asimismo, y también porque las velocidades son más altas al acercarnos a la punta de pala, el perfil podrá tener menores dimensiones para dimensiones para obtenerla misma fuerza resultante. Estas consideraciones son particularmente importantes en máquinas de gran tamaño. En molinos pequeños, por razones de simplicidad y fundamentalmente costos, se acostumbra optar por palas de sección constante y sin alabeo.

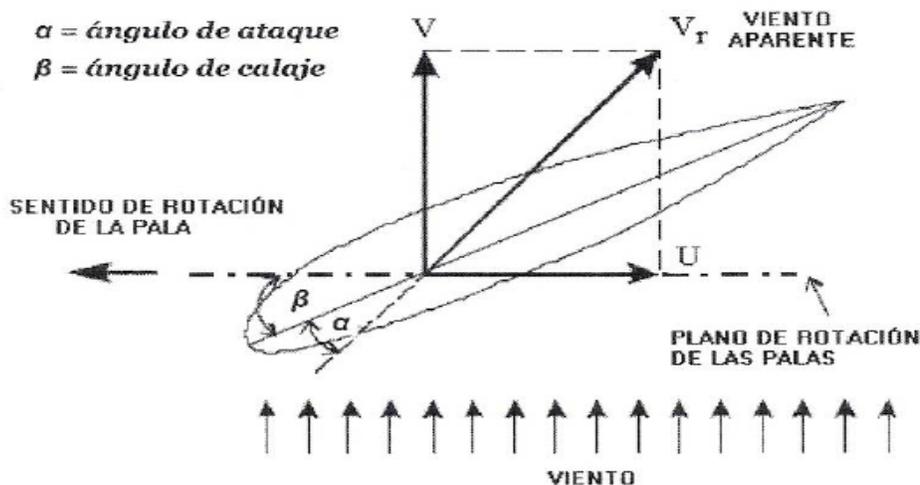


Fig. 3.9 Efectos del viento sobre un elemento de pala.

Si el viento no supera la denominada velocidad de puesta en marcha (valor mínimo necesario para vencer los rozamientos y comenzar a producir trabajo útil) no es posible el arranque de un molino. Esto será así hasta que se alcance la potencia nominal, generalmente la máxima que puede entregar, punto en que comienzan a actuar mecanismos activos o pasivo de regulación para evitar que la máquina trabaje bajo condiciones para las cuales no fue diseñada. Continuará operando a velocidades mayores, aunque la potencia entregada no será muy diferente a la nominal, hasta que se alcance la velocidad de corte donde, por razones de seguridad, se detiene.

Estos parámetros vienen especificados en lo que se denomina las curvas de potencia de la máquina que es un gráfico que muestra el desempeño de la máquina a distintas velocidades de operación.

En el ejemplo anterior se muestra en la figura 3.9 se presenta una curva típica de potencia, así como los puntos de importancia que deben de tenerse en cuenta durante su estudio.

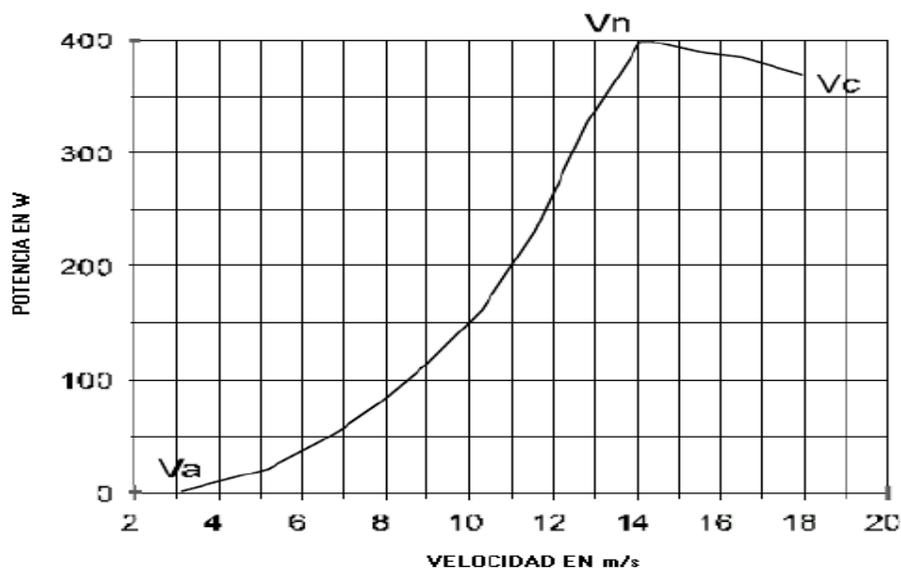


Fig. 3.9 Rendimiento típico de un aerogenerador pequeño (400 w).

Donde:

Va = Velocidad de arranque.

Vn = Velocidad nominal.

Vc= Velocidad de corte.

En cuanto a las máquinas eólicas multipala, estas extraen la energía del viento a través de un rotor y convierte su movimiento rotacional en acción mecánica con algún mecanismo que permite mover una bomba y así producir la acción de bombeo. Es por

esto que existen diversas alternativas de disposición de elementos mecánicos para bombear agua con la energía de los vientos, como se vera más adelante.

### **3.8 SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD**

Uno de los grandes problemas de los aerogeneradores es su operación frente a la aleatoriedad del estímulo otorgado por el viento. Este puede ser muy fuerte o muy débil, constante o presentarse en forma de ráfagas. Las exigencias climáticas que sufren los aerogeneradores son notables. Estos problemas, y otros mas, hacen que la conversión energética sea una tarea compleja ya que las maquinas eléctricas necesitan algunas variables constantes como la velocidad de giro del rotor, la cual esta directamente relacionada con la velocidad del viento.

Para lograr velocidad constante en el eje del generador se utilizan diversas soluciones que van desde la intervención mecánica en la relación de amplificación de RPM (caja de cambio) hasta la alteración del comportamiento aerodinámico del aerogenerador frente al viento (variación del ángulo de ataque de la aspas y diseño de perdida aerodinámica de las aspas).

Los más modernos aerogeneradores tienen sistemas de control mixtos que involucran la variación del ángulo de ataque de las aspas y adicionalmente sistemas de control sobre los parámetros eléctricos del generador. La idea es que los métodos utilizados para controlar los aerogeneradores, tiendan a aumentar al máximo la eficiencia y sobre todo que logren un control total y efectivo de la operación del aerogenerador y su seguridad.

### **3.9 SISTEMAS DE CONTROL AERODINAMICO**

El primer sistema de control aerodinámico utilizado es el que se aplico en el Gedser y se denomino de “perdida aerodinámica”. Esencialmente se diseña el aspa de tal manera que al girar a una velocidad demasiado elevada se genera una discontinuidad en su aerodinámica que provoca una inmediata perdida de velocidad debido a la turbulencia creada. En su momento fue un método bastante innovador y confiable ya que su funcionamiento radicaba en la forma de sus aspas y era independiente del operador.

Los aerogeneradores ya no ocupan este método debido a que este diseño de aspa no es el óptimo en lo que concierne a conversión energética. Por esto hoy en día se prefiere diseñar un perfil optimizado y luego dotarlo de movimiento axial longitudinal para cambiar la superficie de la aspa que enfrenta al viento. Este método,

conocido como cambio de ángulo de ataque, claramente permite manipular la velocidad del rotor frente a las perturbaciones de la velocidad del viento y en caso de necesidad, se puede llegar a inmovilizar el aerogenerador aun estando dentro una tormenta.

### **3.10 SISTEMAS DE CONTROL MECANICO**

El mas rudimentario y poco eficiente de los mecanismos de control de velocidad es el freno mecánico el cual no hace nada mas que mantener las revoluciones del rotor por debajo de un cierto límite. Este puede operar de forma autónoma o ser accionado por el operador que puede ser un humano o un microcontrolador. El que funciona de forma autónoma es el freno centrífugo el cual se activa mecánicamente cuando el rotor llega a determinadas revoluciones.

El más usual de estos sistemas consiste en la clásica caja de cambio mecánica (gear box).

Esta tiene la tarea de amplificar las revoluciones del rotor del aerogenerador para obtener las revoluciones necesarias en el eje del generador y así producir electricidad. Esta caja puede ser compleja y tener la posibilidad de cambiar la relación de amplificación con lo cual se logra operar en distintas condiciones de viento. De todas maneras esta manipulación logra cambios discretos por lo que normalmente tiene que trabajar en conjunto a otro sistema de regulación.

### **3.11 SISTEMAS DE CONTROL ELECTRICO**

Las mas notorias y variadas mejoras en la regulación de velocidad están ciertamente en la operación de las maquinas encargadas de la generación eléctrica como se muestra en la figura 3.10.

Esto es correcto considerando que:

$$\mathbf{E} = \mathbf{M} \cdot \omega \cdot \mathbf{I} \text{ campo}$$

**Ecuación. 3.1**

Donde:

**E** es el valor de la onda generada tal como se aprecia en la figura siguiente

**M** es una constante que involucra el número de vueltas del embobinado de estator el porcentaje de flujo magnético generado en el rotor que efectivamente excita el estator.

$\omega$  es velocidad angular regular y uniforme.

$I$  campo es la corriente que circula por el bobinado de rotor.

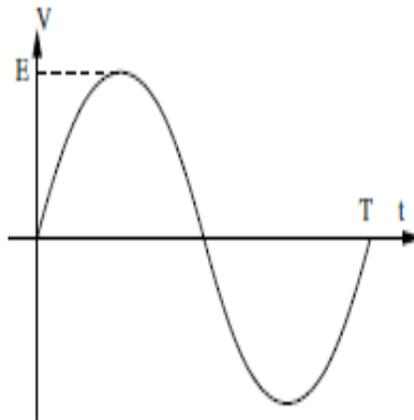


Fig. 3.10 Onda sinusoidal generada en cada enrollado del estator

El esquema siguiente Figura. 3.11, describe la estructura general de un alternador (o maquina sincrónica) la cual puede ser utilizada para aportar energía a un sistema continuo agregando una posterior etapa de rectificación. Al utilizar el alternador como maquina alterna trifásica (que aporta su energía a una red infinita de la misma naturaleza), con la corriente de campo se modifican las potencias activa y reactiva generadas y no el nivel de voltaje.

Cabe destacar que el generador puede ser utilizado como freno eléctrico en caso de necesidad, disipando toda la energía en forma de calor emitido por una carga resistiva. Esto hace que el rotor del aerogenerador gire m as lentamente.

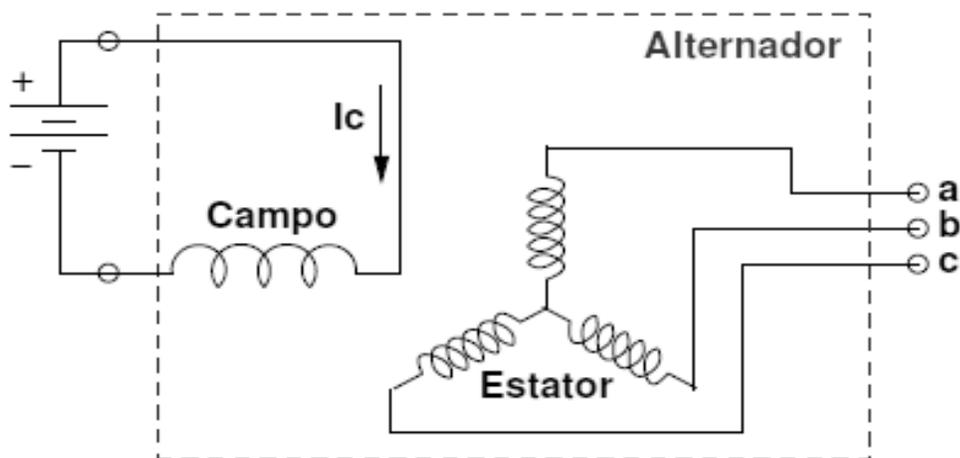


Fig. 3.11 Esquema general de un alternador.

### 3.12 LA LEY DE BETZ Y LA MAXIMA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

La ley de Betz fue formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro “Wind-Energie”, publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en ese momento se tenía sobre energía eólica y aerogeneradores. Betz, define la potencia captada por un obstáculo que frena el libre movimiento del viento (tal como se ilustra en la figura siguiente). Por clara conveniencia se va a considerar un aerogenerador como obstáculos. Esta relación entre las velocidades es formalizada por la ecuación:

$$P_{\text{captado}} = \frac{E_{\text{cin}_1} - E_{\text{cin}_2}}{\Delta t} = 1/2 \frac{\Delta m_{\text{aire}}}{\Delta t} (V_1^2 - V_2^2)$$

Ecuación. 3.2

La potencia captada por el aerogenerador se define como la diferencia instantánea de la energía cinética del viento antes y después de pasar por el obstáculo en un tiempo  $\Delta t$  como se muestra en la figura 3.12 .

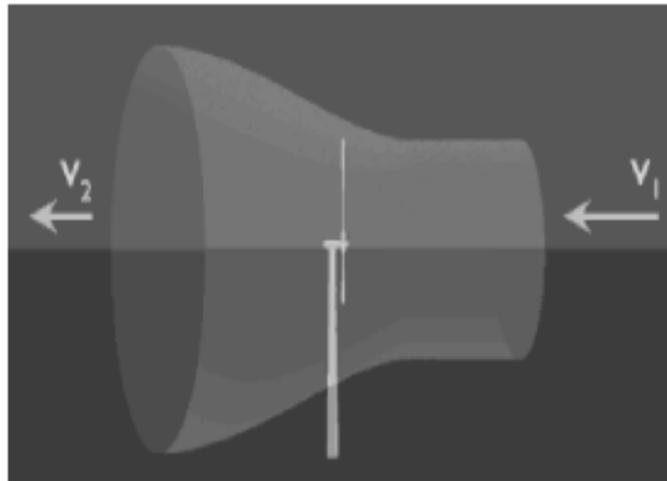


Fig. 3.12 Velocidad antes y después del aerogenerador

Otra manera para definir la masa de aire que pasa por el aerogenerador se logra considerando el promedio de las velocidades antes y después del obstáculo:

$$\frac{\Delta m_{\text{aire}}}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot \frac{(V_1 + V_2)}{2}$$

Ecuación. 3.3

Sustituyendo la masa del aire con lo expresado

$$P_{\text{captado}} = 1/4 \cdot \rho \cdot A (V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2)$$

Ecuación. 3.4

Luego se define la razón entre la potencia captada sobre potencia del viento definida por la ecuación:

$$\frac{P_{\text{captado}}}{P_{\text{viento}}} = 1/2 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)\right)^2 \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right)$$

Ecuación. 3.5

Lo anterior permite definir una función  $P_{\text{captado}}/P_{\text{viento}}$  vs. una variable  $V_2/V_1$ , tal como se muestra en la figura 3.13:

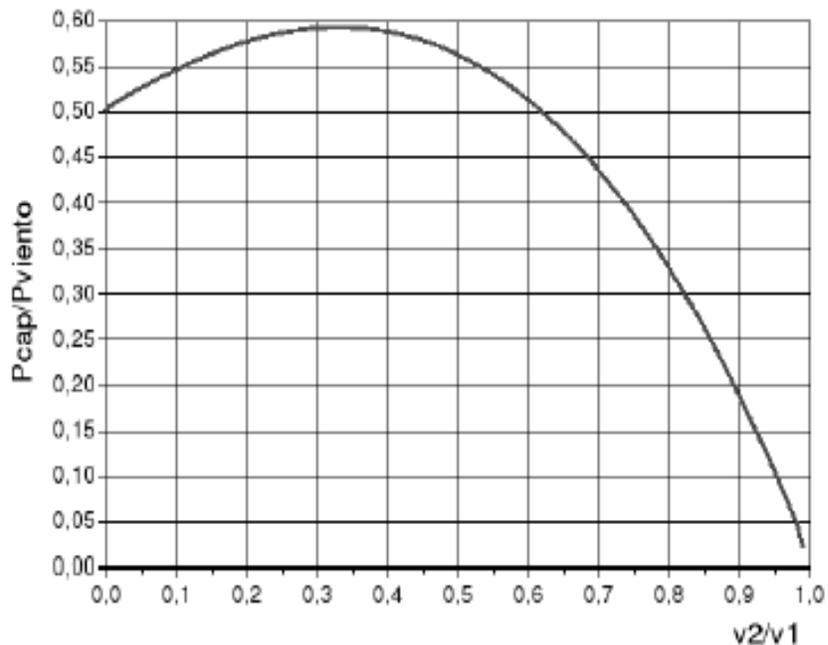


Fig. 3.13 Curva de eficiencia de Betz

La curva obtenida anteriormente define un máximo en con una  $\frac{V_2}{V_1} = 1/3$  potencia Máxima captada de  $P_{\text{captada}} = 16/27 (P_{\text{viento}})$

### **3.13 LA NECESIDAD DE LA ENERGÍA EÓLICA**

La energía eólica supone actualmente un logro innegable en el abastecimiento eléctrico a millones de habitantes, crea decenas de miles de puestos de trabajo en las áreas de implantación y el ritmo del cambio y del progreso ha sido rápido para una industria tan joven.

Las ventajas de la energía eólica son irresistibles: protección al medio ambiente, crecimiento económico, creación de puestos de trabajo, diversidad en el suministro de energía, rápido despliegue, innovación y transferencia de tecnología. El combustible es gratis, abundante e inagotable. No obstante, estas ventajas están generalmente aún sin explotar. La mayoría de las decisiones sobre energía que se toman actualmente no contemplan la energía eólica, tropezándose con muchos obstáculos y barreras.

Está surgiendo un consenso internacional respecto al cambio climático que manifiesta que seguir como hasta ahora no es una opción válida y que el mundo debe cambiar a una economía de energía limpia. Algunos argumentan que afrontar el cambio climático es un reto desalentador y que el cambio es, en cierto modo, demasiado costoso para las economías y la industria. En este campo de batalla en busca de soluciones, la energía eólica es una de las mejores alternativas como respuesta al estancamiento y al retraso: es una fuente energética mundial, accesible, común y viable que es capaz de sustituir a los combustibles fósiles.

### **3.14 LAS DESVENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA**

- 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 mas acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad, y siempre que estemos muy próximos a los molinos.
- También ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo mortandad al impactar con las

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

- El alto costo del equipo, de las instalaciones, ya que un aerogenerador de 125 kw que solo alimentaría unas cuantas casas tiene un costo aproximado de \$80,000 pesos, lo que resulta un costo fuerte que no cualquier persona estaría en posibilidades de adquirir. Además de que el mantenimiento también resulta muy caro.

### **3.15 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON LA FUERZA DEL VIENTO**

Para obtener electricidad a partir del viento es necesario accionar máquinas que, por arrancar prácticamente en vacío no exigen al rotor eólico un gran par de arranque.

Si a esto agregamos las mayores eficiencias de los rotores rápidos, es fácil comprender porqué son los que se emplean casi con exclusividad para generación de electricidad.

Los generadores eléctricos pueden ser de corriente continua (dínamos) o de corriente alterna, existiendo en este último caso dos tipos: generadores sincrónicos o alternadores y generadores asincrónicos o de inducción. Las dínamos tienen el inconveniente de utilizar escobillas, que exigen mantenimiento periódico, y son más pesadas y caras que los generadores de corriente alterna (C.A.) de igual potencia; aunque tienen la ventaja de no necesitar de sistemas especiales para cargar baterías, su uso se ha ido abandonando reemplazándolos por los generadores de C.A., con la excepción de algunos equipos para proveer muy bajas potencias, de construcción artesanal.

El tipo de generador de C.A. que se utilice depende fundamentalmente de las características del servicio a prestar. Como regla general puede decirse que los alternadores son mayoritariamente usados en máquinas que alimentan instalaciones autónomas y los generadores de inducción en turbinas eólicas interconectados con otros sistemas de generación.

Esto es así pues los generadores de inducción tienen la enorme ventaja de que, una vez en marcha y conectados a las líneas de distribución, giran a una velocidad constante impuesta por la frecuencia de la red, entregando más o menos energía según la intensidad del viento, pero siempre rotando al mismo número de revoluciones. En otras palabras, los aerogeneradores no requieren de costosos sistemas de regulación de velocidad, ventaja a la que se adiciona la apreciable diferencia de costos entre un generador asincrónico y un alternador de la misma potencia. Es importante destacar que los generadores asincrónicos necesitan tomar energía de la red para mantener la

corriente de magnetización; de interrumpirse esta conexión la máquina debe ser frenada para evitar su aceleración.

Los generadores sincrónicos, aunque tienen un mayor rendimiento potencial, deben operar a velocidad constante si se quiere mantener fija la frecuencia. El mantenimiento del número de revoluciones, acorde con la frecuencia de línea, es función exclusiva del motor que los impulsa (en nuestro caso el rotor eólico), siendo necesario elaborados sistemas de control. Distinto es el caso de las aplicaciones en que la única fuente de abastecimiento es el aerogenerador. En ellos el uso de generadores sincrónicos es casi obligado, pero no tan crítico el mantenimiento de la frecuencia de la C.A. generada, pues, por lo general, los equipos a alimentar toleran variaciones en la frecuencia.

Es un hecho también que la variabilidad del recurso exige, en muchas instalaciones aisladas, acumular energía en baterías y desde ellas alimentar la demanda. En estos casos la frecuencia no tiene ninguna importancia pues habrá rectificadores que transformaran la C.A. en corriente continua (C.C.). Es obvio entonces que la utilización de alternadores responde en estos casos a la búsqueda de menores costos y mejores rendimientos y no a una característica del servicio.

El acoplamiento entre rotor eólico y generador se realiza a través de una caja multiplicadora. Su empleo es necesario pues a medida que crece el diámetro deben limitarse las r.p.m. del rotor para evitar que las puntas de las palas trabajen a velocidades que comprometan la resistencia de los materiales empleados o induzcan vibraciones perjudiciales. Por otra parte, los generadores comerciales requieren girar a velocidades que están entre las 1000 y las 3000 r.p.m., dependiendo de sus características constructivas y la frecuencia a obtener.

### **3.16 INSTALACIONES REMOTAS O AISLADAS.**

#### *Configuración y características de los generadores eólicos aislados.*

Las potencias van de 0,15 hasta 10 kW. Se emplean rotores de eje horizontal habiendo máquinas de paso variable y de paso fijo. Se prefieren estas últimas pues presentan menos problemas de mantenimiento aunque en este caso serán necesarios dispositivos que la protejan ante vientos muy fuertes.

Las soluciones adoptadas van desde sistemas excéntricos que “desalinean” al aerogenerador de su posición enfrentada al viento a sistemas de frenado que evitan que la palas giren en condiciones adversas. En la gran mayoría de los casos se emplean generadores sincrónicos de imán permanente y la acumulación se realiza en baterías de

plomo-ácido. Para alimentar equipos que requieran C.A. desde las baterías es necesario utilizar convertidores de C.C. a C.A., llamados inversores.

Se han implementado sistemas autónomos para los más variados usos: alimentación de repetidoras de TV y telefonía, faros, instalaciones domiciliarias, etc. En todos ellos pudo demostrarse la factibilidad técnica (fig 3.14).

Estudios comparativos realizados en varios países indican que los aerogeneradores son económicamente competitivos con otros sistemas de abastecimiento eléctrico aislado cuando se trata de potencias no muy superiores a los 5 kW y el recurso eólico es abundante.

Otros estudios indicaron que en el caso de electrificación rural puede competir, bajo ciertas condiciones, con la conexión a las redes. Se estimó que para demandas domiciliarias de aproximadamente 400 kWh/mes y velocidades de viento superiores a 4 m/s la generación eólica podía competir con el tendido de líneas más allá de los 5 km. Tomando en cuenta que en el mundo aproximadamente 1.500 millones de personas no tiene acceso a los servicios eléctricos centralizados y que existe un sinnúmero de requerimientos de baja potencia, el mercado potencial para la generación eólica autónoma es sumamente amplio y promisorio.

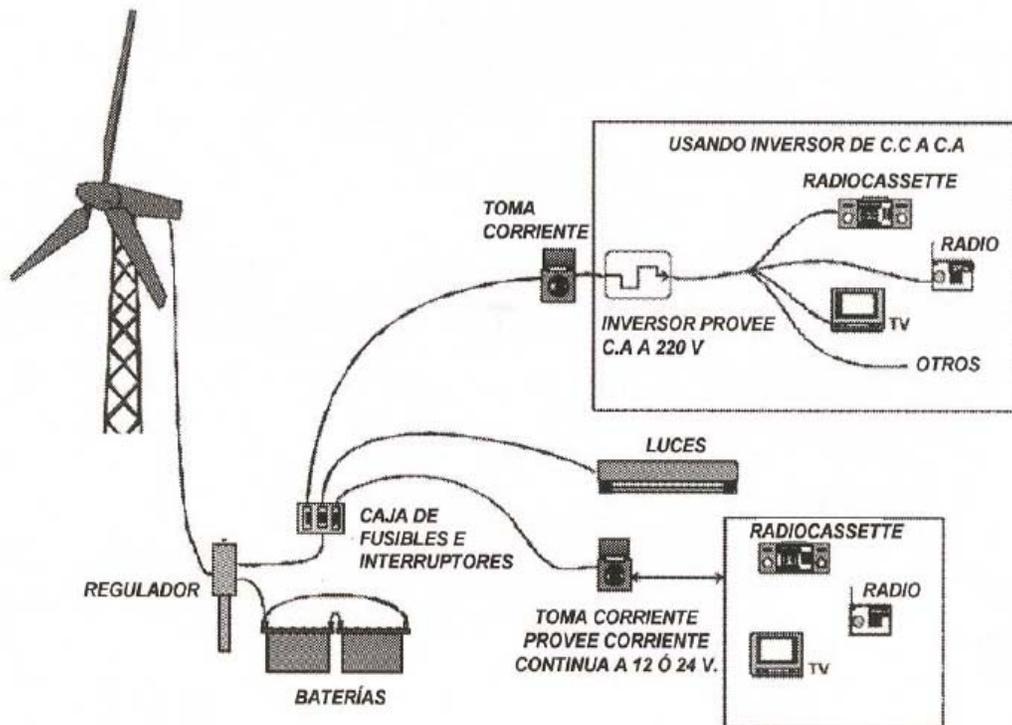


Fig. 3.14 Esquema típico de un sistema eólico para uso residencial.

### 3.17 CONVERTIDOR DE CORRIENTE DIRECTA (C.D.) A CORRIENTE ALTERNA (C.A.)

Un convertidor de CD/CA también llamado inversor como se muestra en la figura 3.15, es un circuito utilizado para precisamente eso, convertir la corriente directa a corriente alterna, generalmente utilizando una batería que nos proporcione 12V CD

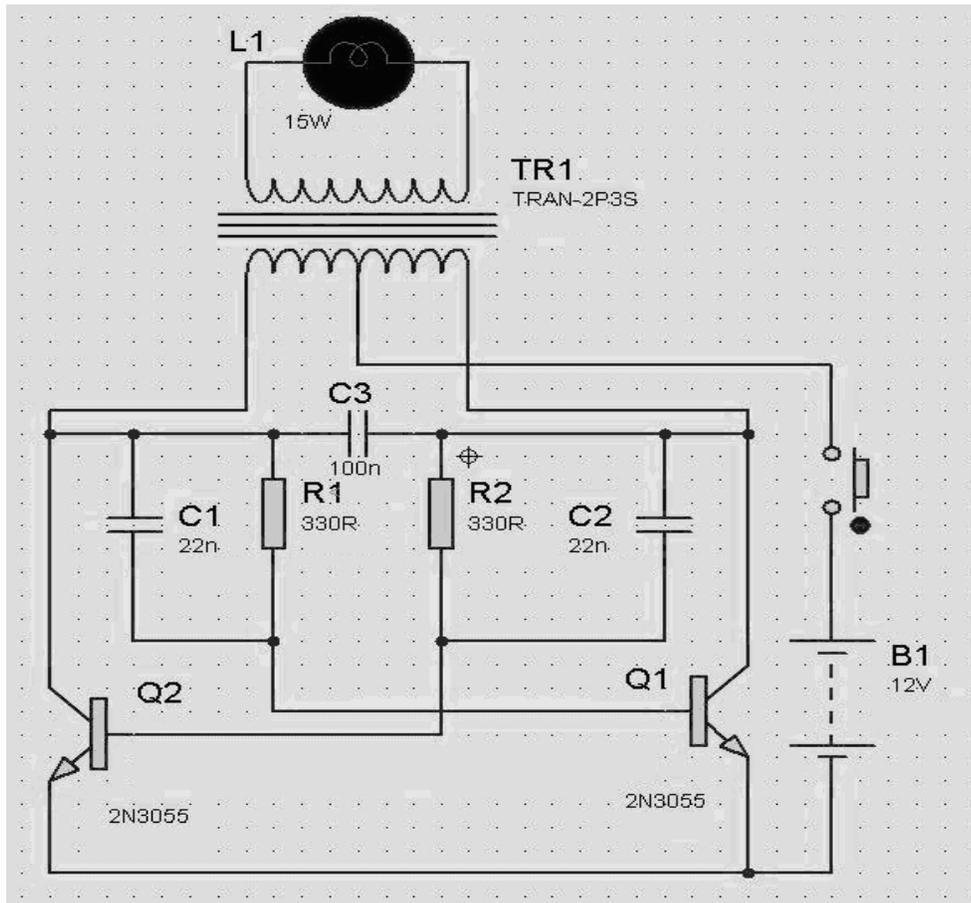


Fig. 3.15 Diagrama de conexión de un convertidor de CD a CA

La idea principal es generar 120V de CA energía con la que trabajan la mayoría de nuestros electrodomésticos. Como la energía que llega a nuestros hogares.

Un ejemplo de este circuito es un UPS “Uninterruptible Power Supply” (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), estos aparatos son utilizados habitualmente en los equipos de cómputo, ya que cuando hay cortes de energía eléctrica entran en funcionamiento, manteniendo con energía eléctrica por un determinado tiempo la computadora o cualquier otro aparato conectado al UPS.

### 3.17.1 FUNCIONAMIENTO DE UN CONVERTIDOR DE CD/CA

Al aplicar la tensión de alimentación ( $V_{cc}$ ), los dos transistores iniciaran la conducción, ya que sus bases reciben un potencial positivo a través de las resistencias R1 y R2, pero como los transistores no serán exactamente idénticos, por el propio proceso de fabricación y el grado de impurezas del material semiconductor, uno conducirá antes o más rápido que el otro.

Supóngase que Q2 (transistor 2) es el que conduce primero. En estas condiciones el voltaje en su colector estará próximo a 0 voltios, por lo que el C1 (capacitor 1) comenzará a cargarse a través de R1 (resistor 1). Cuando el voltaje en C1 alcance los 0,6 V, Q1 (transistor 1) comenzará a conducir, pasando la salida a nivel bajo voltaje próximo a 0V. C2 (capacitor 2), que se había cargado, se descargará ahora provocando el bloqueo de Q2. C2 comienza a cargarse vía R2 (resistor 2) y al alcanzar un voltaje de 0,6 V provocará nuevamente la conducción de Q2, la descarga de C1, el bloqueo de Q1 y el pase a nivel alto.

A partir de aquí la secuencia se repite indefinidamente, dependiendo los tiempos de conducción y bloqueo de cada transistor de las relaciones R1/C1 y R2/C2. Estos tiempos no son necesariamente iguales, por lo que pueden obtenerse distintos ciclos de trabajo actuando sobre los valores de dichos componentes.

Componentes:

- 1 Lámpara de 15 Watts a 117 V.
- 2 Transistores de potencia 2N3055.
- 2 Resistencias de 330 Ohms a 5 Watts.
- 2 Capacitores cerámicos 22nF de 250V.
- 1 Capacitor de 100nF de 400V.
- 1 Batería 12V.
- 1 Transformador 120V a 12V.
- 1 Switch.

### 3.18 EL ALTERNADOR

Estas maquinas son generalmente sincrónicas y poseen un rotor bobinado cilíndrico o de polos salientes.

El prototipo emplea un alternador de automóvil que tiene las especificaciones adecuadas para convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica. La marca de tal alternador es Delco-Remy y se utiliza normalmente en vehículos pertenecientes a GM. Siendo una maquina de corriente alterna, se pueden plantear formulas que definen el modelo teórico matemático. Una de las ecuaciones generales es la que define el voltaje generado respecto al circuito equivalente mostrado en la figura 3.16

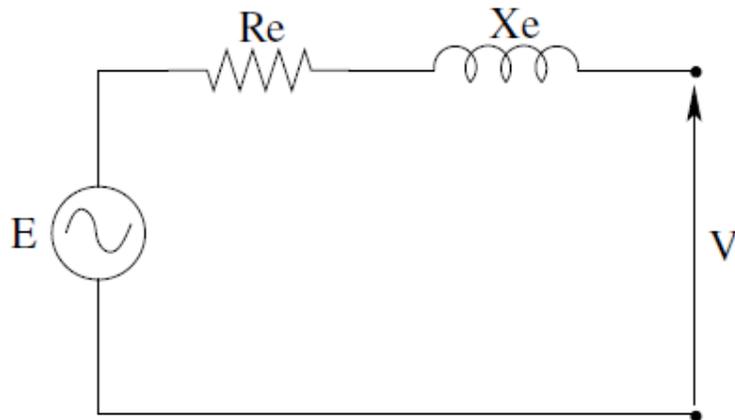


Fig. 3.16 Modelo fasorial del generador.

En la formula siguiente la constante **M** depende del numero de vueltas del embobinado de rotor y de la eficiencia en canalizar las líneas de campo magnético al interior de los enrollados del estator. Esto ultimo depende de la forma del núcleo y del entre hierro.

$$E = M(\omega)(L)$$

Ecuación. 3.6

No obstante el alternador es una maquina alterna y trifásica tal como se muestra en el esquema. Este tiene un puente de diodos para rectificar las tres fases. Esto permite definir el comportamiento de esta maquina en conjunto con el puente rectificador. Esto por el hecho que al manejar la corriente de campo no se logra operar la maquina como un clásico generador sincrónico trifásico. Al variar la corriente de campo, en nuestro caso, se logra un cambio en el nivel de voltaje en los bornes ya que se altera el campo magnético del embobinado del rotor como se muestra en la figura 3.17.

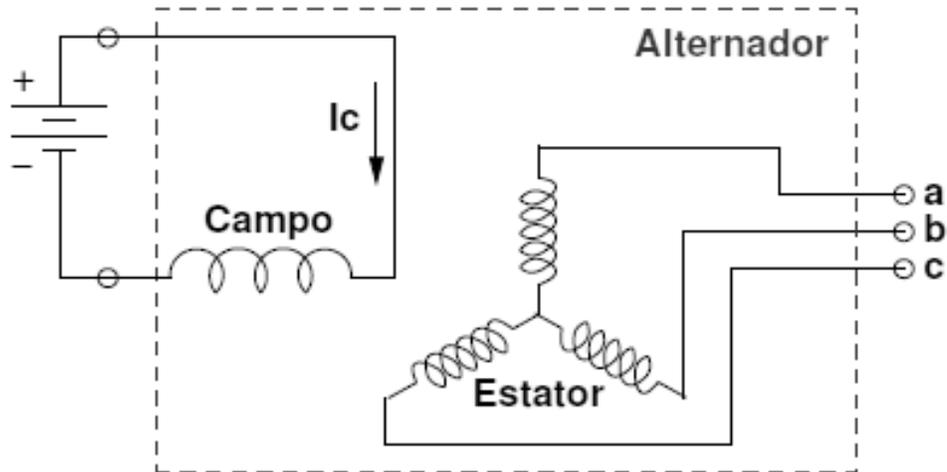


Fig. 3.17 Alternador: una maquina trifásica.

Como el alternador rectifica sus tres fases mediante puente de diodos, se puede expresar la relación entre la amplitud de la señal alterna y del nivel de voltaje continuo obtenido. Esta rectificación esta definida en la ecuación siguiente la cual no considera los efectos inductivos de la parte alterna del alternador.

$$V_{cc} = V_m \left( \frac{\text{Sen}(\pi/6)}{(\pi/6)} \right)$$

Ecuación. 3.7

El alternador utilizado para la implementación del prototipo es descrito por los datos de placa ordenados en la tabla 3.1 . Por ser un alternador antiguo, la gran mayoría de los datos son, en realidad, mediciones de laboratorio. Los únicos datos de placa que se encuentran sobre la carcasa del alternador son el voltaje nominal y la corriente máxima.

Tabla 3.1 Datos de placa y mediciones de parámetros del alternador

|                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| Marca                 | Delco-Remy                 |
| Modelo                | 1100834                    |
| Tipo de generación    | DC                         |
| Tipo de maquina       | Síncrona                   |
| Tipo de rectificación | Puente de diodos trifásica |
| Tipo de rotor         | Electroimán con escobillas |
| Voltaje nominal (V)   | 12                         |
| Corriente máxima (A)  | 37                         |
| Potencia máxima (W)   | 444                        |

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Numero de vueltas del estator | 2                    |
| Resistencia del rotor (ohms)  | 5.2 (sin escobillas) |
| Resistencia del rotor (ohms)  | 5.7 (con escobillas) |
| Numero de vueltas del rotor   | 500                  |

### 3.18.1 ROTOR DEL ALTERNADOR

El rotor del alternador Delco Remy es un electroimán formado por una bobina de campo central de alambre aislado de cobre, de 0,6-0,7 [mm] de diámetro y de 500-600 vueltas, y con una resistencia de 6-7 [ $\Omega$ ] por el cual puede circular una corriente de hasta 2-3[A].

### 3.19 CONTROL DE CORRIENTE DE CAMPO

El control de la corriente por el embobinado de rotor se logra con el siguiente circuito, donde se monitorea la magnitud de la corriente y en conjunto con la velocidad del rotor, el microcontrolador decide que voltaje aplicar al embobinado para lograr la máxima generación como se muestra en la figura 3.18.

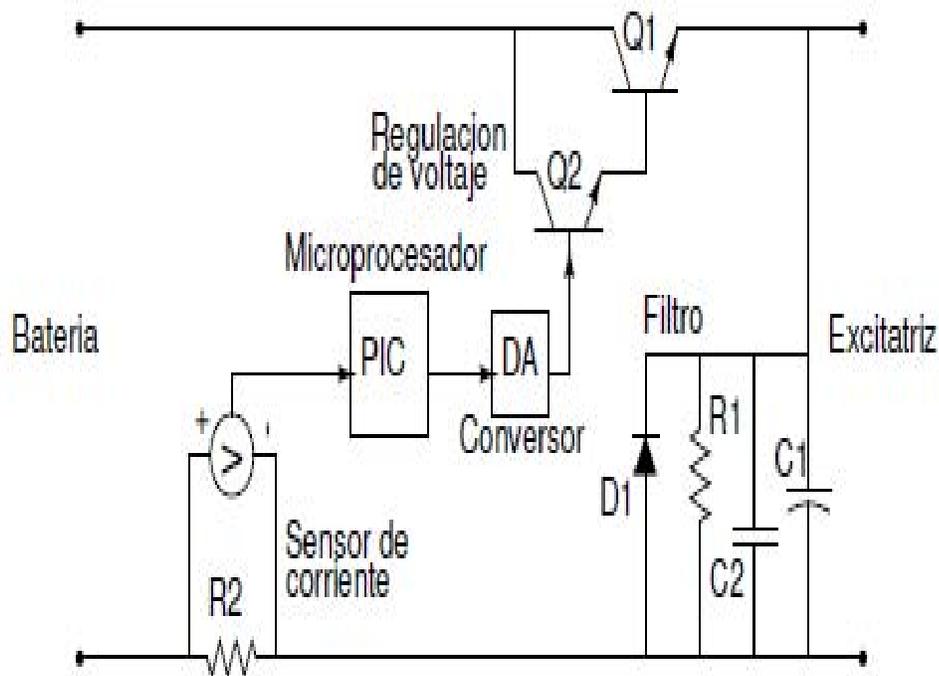


Fig. 3.18 Fuente de voltaje del inductor controlado por un PIC

La forma de controlar el voltaje generado en el estator, es el de controlar el campo magnético del rotor (tabla 3.2).

**Tabla 3.2 Componentes de una fuente de voltaje controlada**

| <b>Microcontrolador</b> | <b>Pic-18f452</b> |
|-------------------------|-------------------|
| Q1                      | Transistor 2N3055 |
| Q2                      | Transistor TIP31C |

El sensor de corriente puede ser una resistencia Shunt o un sensor de efecto Hall. El primer método de medir es el mas clásico, pero presenta imprecisión en la lectura de voltaje en sus bornes. El sensor de efecto Hall trabaja con el campo magnético que crea la corriente al pasar por el conductor, lo que permite tener un sensor físicamente aislado del circuito de potencia.

Junto con el filtro se encuentra un diodo que tiene la tarea de dejar circular la corriente en el momento de corte del transistor y así evitar un sobre voltaje por la inductancia de la carga que, en este caso, es el embobinado del rotor.

### **3.20 ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO**

Aunque la energía eólica en México aún esta en pañales, existen varios proyectos de este tipo de energía en México. Algunos ya terminados y funcionando, mientras que otros siguen en planes de construcción. Aquí un resumen de estos proyectos de energía eólica en México.

#### **3.20.1 LA RUMOROSA II**

El parque consta de cinco turbinas y tiene una capacidad de generación de 10 megawatts. Aporta actualmente el 80% de la energía requerida por el sistema de alumbrado público de Mexicali.

Fue construido por la empresa Turbopower en asociación con D'Quadrant Strategies, con una inversión de 26.1 millones de dólares.

El proyecto fue presentado para su acreditación ante el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto, con la intención de obtener recursos vía “bonos de carbono”.

El gobierno de Baja California ha informado en meses recientes que prevé construir este año el Parque Eólico La Rumorosa II, con una inversión de 150 millones de dólares y capacidad de 20 megawatts.

David Muñoz Andrade, director de la Comisión Estatal de Energía de Baja California, sostuvo a mediados de diciembre que existen al menos cinco prospectos de granjas eólicas que serían operadas por empresas privadas nacionales y extranjeras, con una capacidad total de poco más de 2 mil 600 megawatts.

### **3.20.2 PARQUE DE FRENOSA EN OAXACA**

Gas Natural Frenosa continua el parque eólico que instalará en el sur del país, que tendrá una capacidad de 227 MW y representa una inversión de 400 millones de dólares, confirmó José Antonio Hurtado de Mendoza, director de Planificación de Ingresos y Regulación de la compañía en México. El plan original era que el proyecto estuviera listo en el 2012, pero se aplazó para 2013 para que entre en operación. “Ya se tienen pláticas con el gobierno federal”, expresó. El industrial explicó que el retraso se debe a la dificultad de recursos financieros que hay en el mercado de capitales y a que la empresa viene de un proceso de fusiones. Por lo pronto, ya se tienen los terrenos para la instalación de las turbinas eólicas y falta ponerse de acuerdo con 300 ejidatarios.

Cabe precisar que la Secretaría de Energía (SENER) cuenta con este tipo de proyectos para poder cumplir con su meta de incorporar a las energías renovables en la diversificación de fuentes de generación eléctrica en el país.

Señaló que México es uno de los sitios donde se podrá recibir la inversión porque se tienen lugares donde el viento hace rentables los proyectos eólicos como es el caso del Istmo de Tehuantepec, uno de los mejores con más viento a nivel mundial.

### **3.20.3 PARQUES EOLICOS EN SAN LUIS POTOSI**

Dos empresas internacionales realizan estudios en las comunidades de Cándido Navarro y Enrique Estrada para instalar turbinas eólicas que conviertan la energía eólica en electricidad. El alcalde de Soledad, Ricardo Gallardo Juárez, manifestó que se darán todas las facilidades para que se concrete la instalación de parques eólicos en su municipio.

Soledad podría convertirse en el primer municipio del estado en utilizar energía eólica para garantizar el alumbrado público en todas sus colonias y fraccionamientos. Con esta estrategia se evitarían fuertes pagos a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

“Me parece un gran proyecto, aunque se requiere una inversión millonaria y la

conjunción de esfuerzos con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el aspecto técnico”. Los estudios se realizan para determinar la factibilidad de instalar los aerogeneradores en comunidades de Soledad, así como la situación jurídica de los terrenos.

#### **3.20.4 IBERDROLA CON 2 PROYECTOS ADICIONALES**

La compañía española de energía, Iberdrola, invertirá 365 millones de dólares en México a través de la construcción de dos proyectos, el convenio se dio durante una reunión celebrada en el marco del Foro Económico Mundial 2011 en Davos, Suiza.

El presidente de México, Felipe Calderón, y el presidente de la compañía, Ignacio Galán, acordaron la construcción de una planta de cogeneración de energía eléctrica y un parque eólico en el territorio mexicano.

El primero generaría la creación de mil 500 empleos directos y estaría ubicado en Salamanca, Guanajuato, y fue resultado de la adjudicación de una licitación internacional celebrada en diciembre del 2010.

El segundo, un parque eólico, sería construido en Oaxaca para la generación de 20 megawatts de electricidad y 500 empleos. Este sería el segundo en su tipo construido en 2 años, por Iberdrola en esta misma región.

ProMéxico informó que se confirmó la realización de 6 proyectos de inversión de mil 503 millones de dólares y la generación de 2 mil 577 empleos nuevos durante el 2010. La mayoría de estos están enfocados en la energía eólica para la generación de energía eléctrica y manufactura de componentes.

Iberdrola informó que sus planes de crecimiento abarcarán particularmente México, Brasil y Europa del Este.

#### **3.21 COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

En México la generación de electricidad esta a cargo de CFE (Comisión Federal de Electricidad)

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 34.2 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos.

En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoeléctrica. (Pero para el presente trabajo la energía que se analizara será la eólica)

Para conducir la electricidad desde las centrales de generación hasta el domicilio de cada uno de sus clientes, la CFE tiene más de 748 mil kilómetros de líneas de transmisión y de distribución.

El suministro de energía eléctrica llega a más de 194 mil localidades (190,732 rurales y 3,667 urbanas) y el 97.8% de la población utiliza la electricidad.

La CFE es también la entidad del gobierno federal encargada de la planeación del sistema eléctrico nacional, la cual es plasmada en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), que describe la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda en los próximos diez años, y se actualiza anualmente.

El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

La región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca fig 3.10, ha sido considerada desde hace muchos años como un sitio estratégico para el desarrollo del país; un proyecto relevante para ello es la generación de energía eólica. En esta región, se han generado manifestaciones a favor y en contra del proyecto eólico; la necesidad de generar fuentes alternas de energía para el desarrollo del país y el pago justo por el arrendamiento de las tierras, así como el impacto negativo que se tendría sobre la avifauna de la región, constituyen elementos dignos de tomarse en cuenta. Sin embargo, se observa un panorama viable para el desarrollo del proyecto eólico ya que los inconvenientes pueden ser subsanados por acuerdos y normatividades.



**Fig. 3.19** Parque eólico en el Istmo de Tehuantepec

En 1986, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) instala estaciones anemométricas en el Istmo de Tehuantepec, se genera interés en la región y se realizan diferentes evaluaciones del potencial eólico del Istmo de Tehuantepec, tanto por la CFE como

por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos, National Renewable Energy Laboratory (NREL), este último a petición del Gobierno del Estado de Oaxaca y financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). En 1994, la CFE logró realizar la construcción del primer proyecto experimental de energía eólica, La Venta I, de 1.575 megawatts de capacidad que se ubicó en el poblado de La Venta, agencia municipal de Juchitán, Oaxaca, donde se instalaron siete aerogeneradores con una capacidad de 225 kilowatts cada uno. La zona se caracteriza por fuertes vientos cuya velocidad promedio anual fluctúa entre los 20 y 25 metros por segundo, la cual coloca a la región como una de las de mayor potencial generador de energía eólica en el mundo. En el 2006, se llevó a cabo la inauguración del parque eólico La Venta II, una central con 83.3 megawatts con capacidad para generar electricidad para aproximadamente 45 mil viviendas. El parque eólico se ubicó en la región sur del Istmo de Tehuantepec al norte de la población de La Venta, municipio de Juchitán de Zaragoza. En el proyecto se consideró la instalación de 98 aerogeneradores, de los cuales cada uno producen 850 kilowatts, hecho que lo convierte en el parque eólico más grande de América Latina. Para La Venta II, (ver Figura) la empresa española Gamesa aportó los aerogeneradores e Iberinco, también de origen español, se encargó de desarrollar los trabajos de ingeniería y construcción para entregar el proyecto bajo la modalidad ‘Llave en mano’. Se trata de un proyecto de gran importancia que permite a México colocarse como líder en la producción eléctrica alterna en América Latina. Presente eólico en la región del Istmo de Tehuantepec En este 2008, en el proyecto de La Venta III, se considera la producción de 101 megawatts de capacidad total, con un rango por aerogenerador de 1.0 a 2.5 megawatts. La empresa ganadora del proyecto eólico La Venta III será la primera que reciba como incentivo 1.1 centavos de dólar por kilowatt-hora entregado a la red eléctrica durante los primeros cinco años de operación, por parte del Banco Mundial. Existe un grupo de alrededor de 14 empresas privadas interesadas en instalar centrales eólicas en el Istmo de Tehuantepec bajo la figura de Sociedad de Autoabastecimiento, tales como: Iberdrola, Unión Fenosa, Eoliatec, Wal-Mart, Soriana, Preneal, Endesa, entre otras, las cuales se encuentran en la etapa de mediciones anemométricas y procuración de reservas territoriales arrendatarias.

### **3.22 FUTURO EÓLICO EN LA REGIÓN DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC**

La CFE calcula que el potencial eólico de México es superior a los 5000 megawatts, por ello, se espera que en los próximos años continúe el desarrollo de proyectos que aprovechen esta energía alterna. Con los proyectos Oaxaca I y II, que entrarán en operación hacia el 2009, se generarán otros 101 megawatts. (4) Serán 304 megawatts adicionales los que habrá hacia el 2010 con la operación de Oaxaca III y IV.

México pretende colocar hasta tres mil aerogeneradores en el Istmo de Tehuantepec para el año 2030.

**Proyectos a Instalarse en México** 

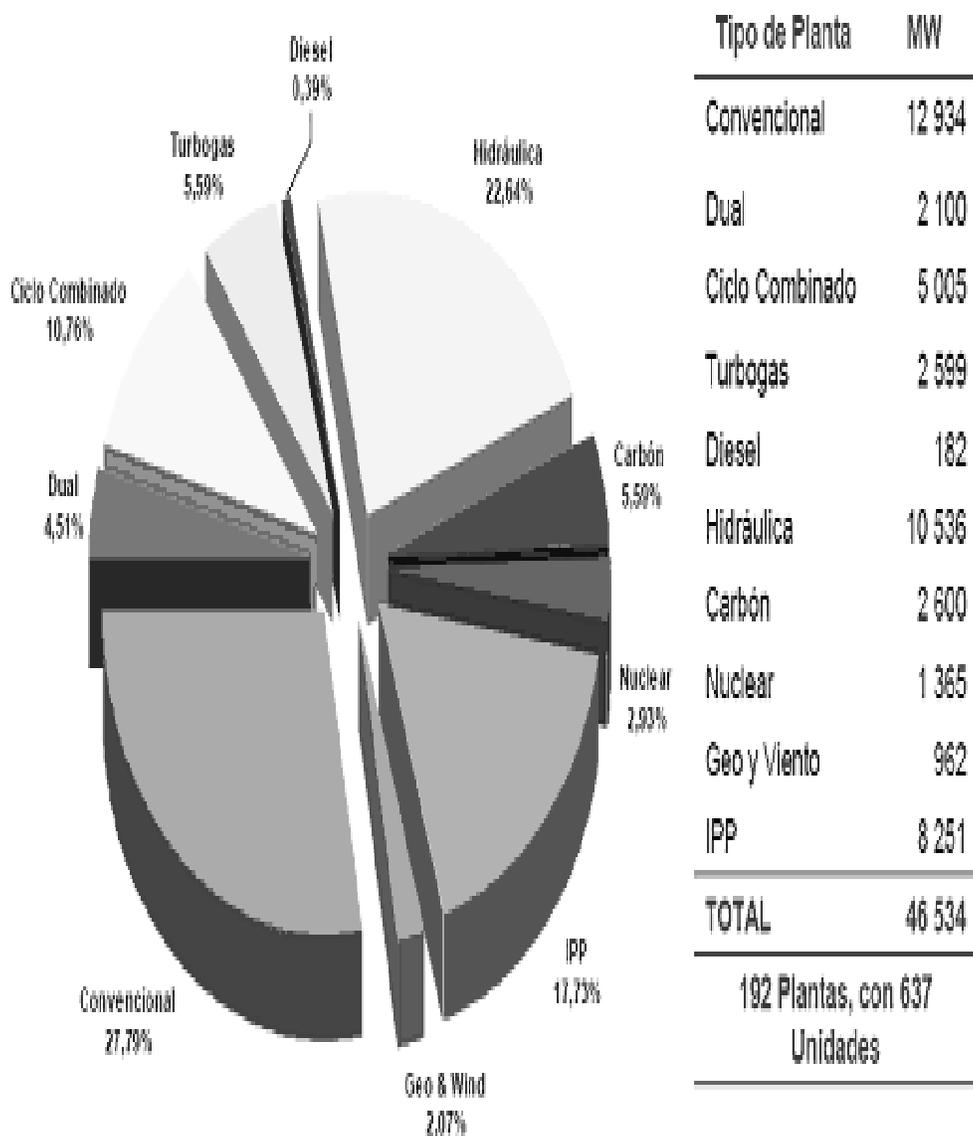
**FUTURA CAPACIDAD 2006 – 2014**

| PROYECTO           | TIPO DE CONTRATO                            | RANGO DE CAPACIDAD (MW) | CAPACIDAD TOTAL (MW) | AÑO       |
|--------------------|---|-------------------------|----------------------|-----------|
| LA VENTA II        | OPF<br>(Obra Publica Financiada)            | 0.85                    | 83.3                 | 2006      |
| LA VENTA III       | IPP<br>(Productor independiente de energía) | 1.0-2.5 <sup>1</sup>    | 101                  | 2008      |
| OAXACA I           | IPP<br>(Productor independiente de energía) | 1.0-2.5 <sup>1</sup>    | 101                  | 2009      |
| OAXACA I, III y IV | IPP<br>(Productor independiente de energía) | 1.5-2.5 <sup>1</sup>    | 304                  | 2010      |
| <b>TOTAL</b>       |   |                         | <b>589</b>           | <b>MW</b> |

### 3.22.1 ASPECTOS FAVORABLES DEL PROYECTO EÓLICO

1. Se reduce la dependencia de combustibles fósiles.
2. Los niveles de emisiones contaminantes asociados al consumo de combustibles fósiles se reducen en forma proporcional a la generación con energía eólica, por ejemplo, en el parque eólico de La Venta II se estima una reducción de emisiones de 205 kilotoneladas de CO2 equivalente por año.
3. Considerando que las reservas probadas de hidrocarburos en el país es de 10 años, es necesario buscar el desarrollo de las fuentes alternas de energía.

El Sistema Eléctrico Nacional tiene una capacidad instalada de **46,534 MW**, **864 MW** pertenecen a LyFC y **45,670 MW** a CFE incluyendo los IPP's. **(INDEPENDENT POWER PRODUCER)**



La región del Istmo de Tehuantepec constituye un área de oportunidad para la generación de la energía eólica, aunque los campesinos dudan sobre los beneficios

sociales del proyecto y científicos alertan sobre potenciales amenazas a las aves, los requerimientos de energía del país son cada vez mayores, considerando que los recursos de petróleo no son renovables, es necesario buscar otras fuentes alternas de energía y la energía eólica constituye una opción viable, ya que es menos contaminante que los combustibles fósiles y con un mantenimiento menos oneroso en sus centrales. Definitivamente, el área con mayor potencial para la construcción de centrales eólicas en nuestro país la constituye la región del Istmo de Tehuantepec, aunque existen discrepancias en el arrendamiento de terrenos y el posible impacto en la avifauna de la región. Por tanto, es viable llegar a acuerdos entre empresas y campesinos, así como la regularización del impacto ambiental a través de normas y especificaciones como se muestra en la figura 3.20.



Figura 3.20. Capacidad instalada para el proyecto eólico CFE- La venta, Guerrero negro

## **CAPÍTULO IV**

# **USOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA EÓLICA.**

Las aplicaciones de la energía eólica se pueden clasificar, según su ámbito, como aplicaciones centralizadas, caracterizadas por la producción de energía eléctrica en cantidades relativamente importantes, vertidas directamente a la red de distribución, o aplicaciones autónomas, dentro de las que cabe distinguir el uso directo de la energía mecánica o su conversión en energía térmica o eléctrica.

En el marco de las aplicaciones centralizadas, en las que siempre será necesario que la potencia base de la red la proporcione una fuente de energía más estable, cabe destacar dos grandes tipos de instalaciones eólicas:

Aerogeneradores de gran potencia: se están llevando a cabo experiencias con aerogeneradores en el rango de potencias de los MW con grandes esperanzas, ya que la potencia que se podría instalar sería muy grande.

Parques eólicos: se trata de centrales eólicas formadas por agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia (alrededor de 100 Kw.) conectados entre sí, que vierten su energía conjuntamente a la red; la generalización de estas instalaciones contribuiría a una importante producción de electricidad de origen eólico en el futuro

Por su parte, las aplicaciones autónomas de máquinas eólicas de pequeña potencia pueden ser rentables en muchos casos, según las condiciones eólicas y las características concretas de las diferentes alternativas que se comparen. Las posibilidades que existen en este ámbito se pueden dividir en tres grupos, según el tipo de energía utilizada en cada caso:

- Energía mecánica: aplicación inmediata en el bombeo de agua por medio de bombas de pistón, de tornillo helicoidal o centrífugo.
- Energía térmica: obtenible a partir de la energía mecánica bien por calentamiento de agua por rozamiento mecánico, o bien por compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor.
- Energía eléctrica: aplicación más frecuente, pero que obliga a su almacenamiento o a la interconexión del sistema de generación autónomo con la red de distribución eléctrica.

## 4.1 APLICACIONES DE LA ENERGÍA EOLICA

Las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos:

- Bombeo de agua y riego
- Acondicionamiento y refrigeración de almacenes
- Refrigeración de productos agrarios
- Secado de cosechas
- Calentamiento de agua
- Acondicionamiento de naves de cría de ganado
- Alumbrado y usos eléctricos diversos

Asimismo resulta de interés el empleo de aerogeneradores para repetidores de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos de las redes eléctricas. En estos casos hay que prever normalmente un sistema de acumulación por baterías para hacer frente a las posibles calmas.

Una aplicación alternativa de este tipo de sistemas es el bombeo de agua, utilizando una bomba eléctrica de desplazamiento positivo. La instalación consistirá en el aerogenerador, su equipo de regulación y monitorización y una bomba de desplazamiento positivo especialmente adaptada para funcionar directamente conectada al equipo de regulación del aerogenerador.

La figura 4.1 muestra un sistema de este tipo:

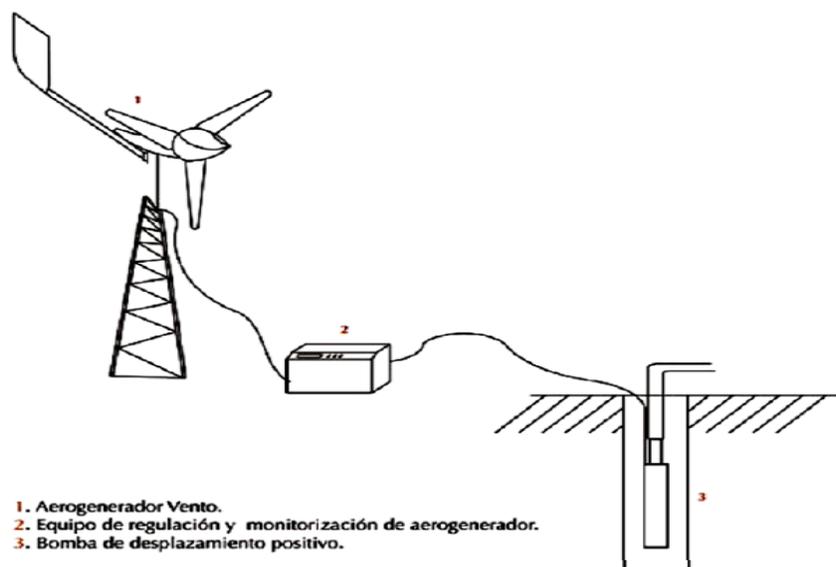


Fig. 4.1 Sistema eólico aislado para el bombeo de agua.

## 4.2 SISTEMAS HÍBRIDOS O MIXTOS

Pequeñas turbinas eólicas brindan una solución atractiva para la electrificación rural en muchos lugares, por su operación económica y simple. Sin embargo, la fluctuación del viento no permite obtener una producción de electricidad constante. Por esta razón, frecuentemente, se usa una turbina eólica en combinación con otra fuente de generación; por ejemplo, paneles fotovoltaicos o un generador eléctrico a base de diesel. Este tipo de sistema se llama un “sistema híbrido”. La mayor ventaja de un sistema híbrido es que provee mayor confiabilidad para la generación eléctrica comparado con uno individual como se muestra en la figura 4.2.



Fig. 4.2 Sistema híbrido eólico – diesel.

En ciertas regiones del mundo, particularmente islas y países en desarrollo, se dan condiciones demográficas, geográficas o económicas que limitan la posibilidad de brindar abastecimiento eléctrico desde las redes interconectadas nacionales. Esto ha dado origen a la instalación de una gran cantidad de pequeñas redes aisladas, alimentadas, por lo general, con generadores diesel.

Debido al pequeño tamaño de las instalaciones o a su ubicación aislada, los costos de

generación son apreciablemente más altos que los de los sistemas interconectados. Costos operativos en el rango de 1,5 a 4 centavos de \$US/kWh son usuales en la generación en gran escala, mientras que valores entre 5 y 20 centavos de \$US/kWh, y aún mayores, son típicos en instalaciones aisladas.

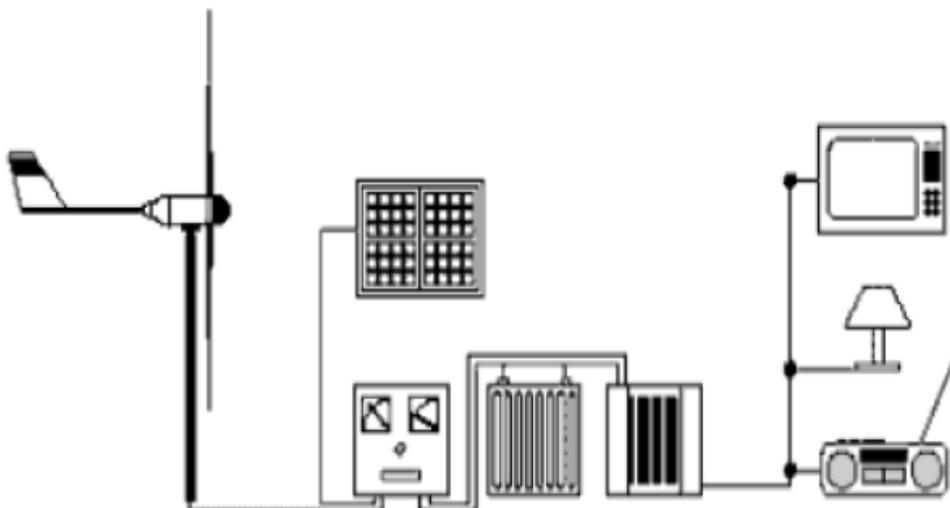
Si se toma en cuenta que en lugares con buen viento se puede generar energía eléctrica en el rango de 5 -15 centavos de \$US/kWh, la operación en paralelo de aerogeneradores y equipos diesel surge como una alternativa interesante.

Hasta ahora, prácticamente todas las instalaciones Diesel-Eólicas fueron hechas con fines de demostración y están en un nivel de desarrollo que podríamos catalogar como prototipo. Si bien existe suficiente información sobre cada uno de los componentes, los datos operativos acumulados de instalaciones completas no son muy abundantes ni cubren períodos prolongados de funcionamiento.

Los resultados son muy alentadores aunque todavía insuficientes para permitir el paso a una escala comercial comparable a la dada en los sistemas aislados o en los interconectados a las redes.

Una estrategia que se ha comenzado a emplear en los sistemas diesel-eólicos relativamente pequeños (5 - 15 kW) es la de incorporar acumulación en baterías y sólo emplear el generador diesel para recargar baterías y haciéndolo operar en el punto de máxima eficiencia. En estos casos el costo de la acumulación es compensado por el menor costo operativo del motor diesel.

La combinación de energía eólica con paneles fotovoltaicos , como se muestra en la figura 4.3 es muy apropiada para zonas aisladas porque no requiere del transporte de combustibles fósiles y, en muchos lugares, la disponibilidad del viento complementa la del Sol, así también se puede realizar combinaciones con sistemas hidroenergéticos o a biogás.



**Fig. 4.3 Sistema híbrido eólico – solar fotovoltaico en red aislada.**

Los sistemas híbridos son especialmente buenos para la electrificación de comunidades y para usos productivos como el procesamiento de productos agrícolas, porque estas aplicaciones, generalmente, requieren un servicio eléctrico más confiable y estable. Otra forma de utilizar los sistemas híbridos es conectados a red es a través de un arreglo mixto entre conexión a red y un sistema híbrido tal como se muestra en la figura 4.3 :

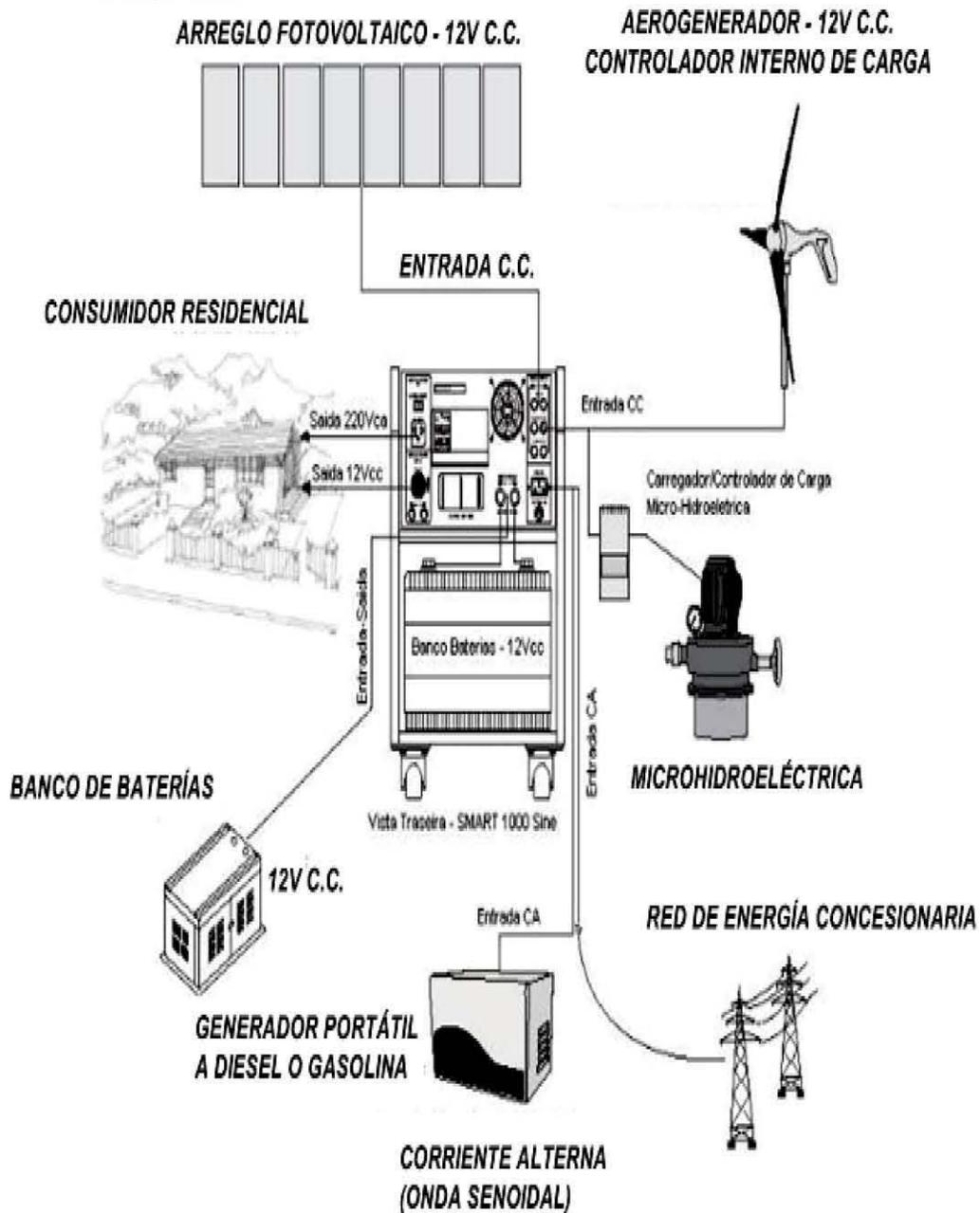


Fig 4.4 Esquema de un sistema híbrido conectado a red.

Otra forma interesante de utilizar un sistema híbrido es el caso de un sistema eólico-hidroeléctrico. Como se muestra en la siguiente ilustración, se trata del caso de un aerogenerador que genera energía eléctrica para que sea utilizada por la bomba centrífuga, la cual lleva la cantidad necesaria de agua al reservorio de la central hidroeléctrica, para que seguidamente sea transformada en energía eléctrica mediante el grupo turbina–generador. Esta es una forma ingeniosa de resolver el problema de un bajo caudal de agua o de una baja velocidad del viento para instalar solamente un sistema eólico o solo un sistema hidroeléctrico como se muestra en la figura 4.5.

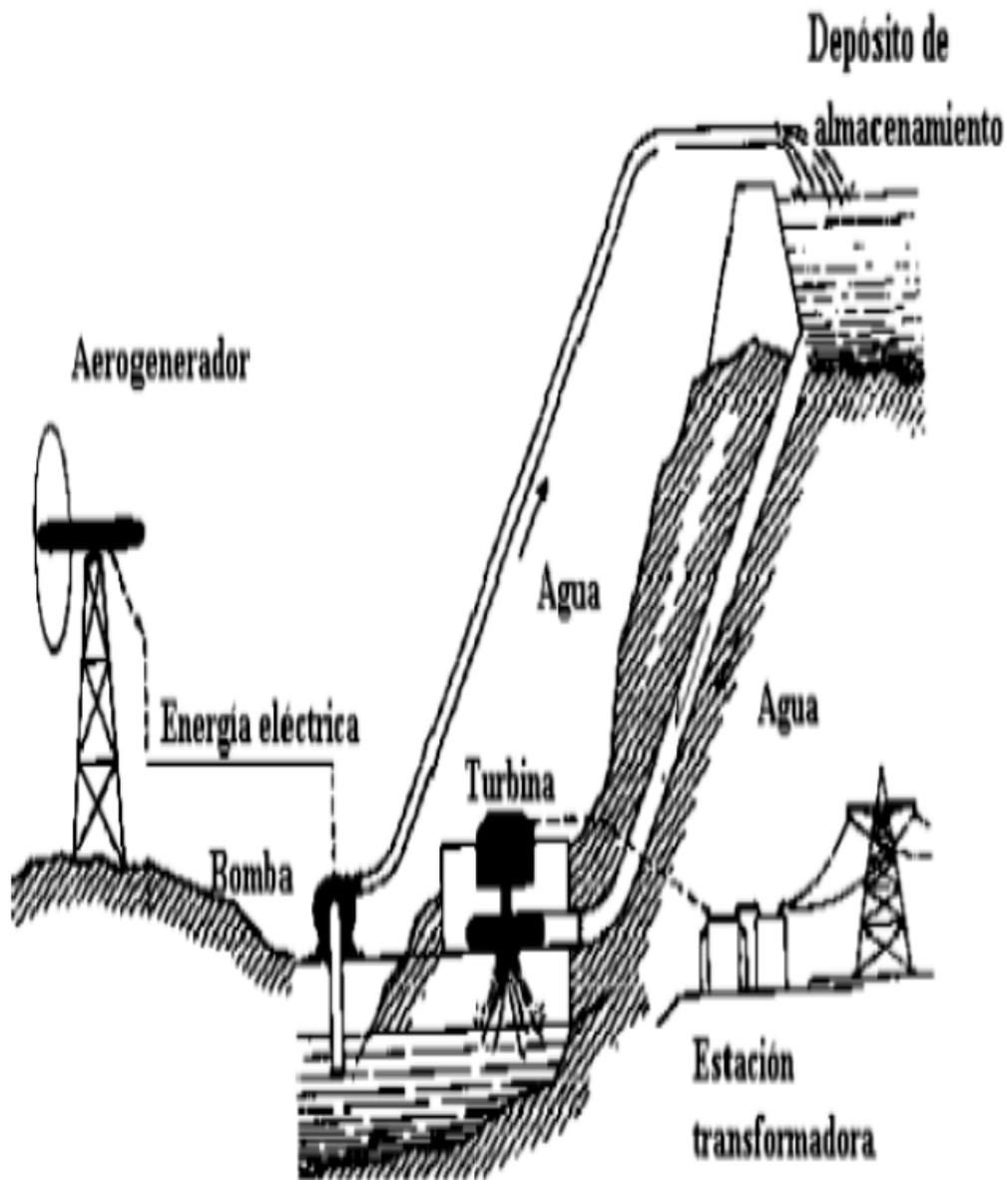


Fig. 4.5 Esquema de un sistema eólico para abastecimiento de agua a una central hidroeléctrica.

### **4.3 FUTURAS TECNOLOGIAS EN LA GENERACION DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO LA FUERZA DEL AIRE**

Los molinos de viento actuales, a pesar de tener considerables ventajas como generadores de energía "limpia", tienen un problema fundamental: producen muy poca energía. Hacen falta gigantescas extensiones de terreno plantadas con ellos para producir una potencia razonable. Un aerogenerador típico proporciona una potencia de unos 120 kW, lo cual sólo permite abastecer a unas 25 casas, si hay suficiente viento.

#### **4.3.1 AEROGENERADOR DE LEVITACIÓN MAGNÉTICA**

El molino de viento más grande que existe es el ENERCON 112 alemán que produce una potencia de hasta 6 MW, figura 4.6



**Fig. 4.6 Aerogenerador Enercon 112**

Un problema que tienen los aerogeneradores es su poca eficiencia: capturan una pequeña fracción de la energía cinética del viento y pierden una cantidad considerable debido al rozamiento, independientemente de lo buenos que sean los rodamientos.

Al final ocurre lo habitual en la producción de energía eléctrica: al tener que construir tantos pequeños aerogeneradores poco eficaces, el costo del KW-hora es tan alto que, económicamente no hay comparación con los combustibles fósiles.

Existen factores no económicos muy importantes a tener en cuenta, pero la economía es indudablemente, un obstáculo para el desarrollo de esta tecnología.

#### **4.3.2 FUNCIONAMIENTO**

En primer lugar, utiliza la levitación magnética (efecto Meissner: efecto físico que permite “sostener” un objeto flotando sin contacto mecánico alguno con el suelo) para levitar sobre el suelo, de modo que su eficiencia ya es mucho mayor que la de cualquier molino convencional que requiere apoyos físicos. Este aumento de la eficiencia es similar al de los trenes de levitación magnética.

Por otro lado, y en parte gracias a la levitación magnética, el tamaño del aerogenerador es enorme y las palas recogen el viento de manera más eficaz que las habituales, de modo que la potencia producida es muchísimo más grande que la de cualquier molino actual. Además este aerogenerador es capaz de funcionar con cualquier velocidad del viento, en los aerogeneradores actuales si el viento es demasiado fuerte se desconectan.

Es evidente que, a gran escala, los grandes aerogeneradores son los que van a proporcionar soluciones para el problema energético, pero también está claro que esa escala es sólo accesible para las grandes empresas eléctricas.

#### **4.4 AEROELASTICIDAD PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA**

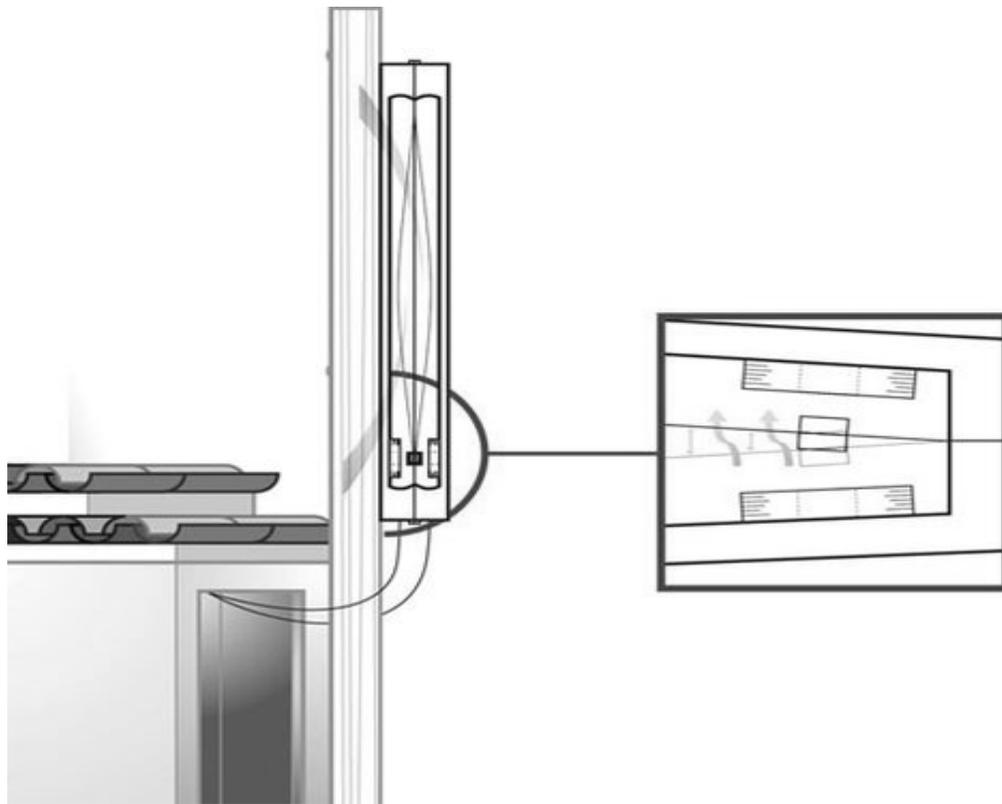
Las infraestructuras a pequeña escala, suelen ser caras y no muy eficientes. Muchas familias del tercer mundo, por ejemplo, utilizan generadores de queroseno para producir su energía eléctrica, lo cual (además de peligroso) es caro y contaminante.

Por otro lado, no pueden permitirse paneles solares o aerogeneradores convencionales, que son muy caros y, cuando se rompen, son difíciles (o imposibles) de reparar para ellos.

De ahí que la propuesta de Shawn Frayne sea interesante: este inventor de California ha diseñado un aerogenerador de pequeña escala y bajísimo costo que utiliza el flameo aeroelástico (vibración inducida por el viento en una superficie elástica) para generar energía eléctrica.

#### 4.4.1 FUNCIONAMIENTO

Este sistema funciona de la siguiente manera: una membrana elástica tensa, sujeta por sus dos extremos a un soporte. En cada extremo hay dos bobinas, una sobre la membrana y otra debajo y pegado a la membrana, un imán en cada extremo. Cuando la membrana recibe una corriente de aire, vibra los imanes se mueven entre las dos bobinas muy rápido, variando el flujo del campo magnético que atraviesa las bobinas e induciendo en ellas una corriente eléctrica, como se muestra en la figura 4.7 .



**Fig. 4.7 Sistema basado en la aeroelasticidad para obtener electricidad del viento**

El resultado es el un generador de energía en miniatura que capta el viento de un modo que nunca se había hecho hasta ahora y totalmente alejado de los molinos de viento que cubren los campos y las costas de la mayor parte de los países desarrollados.

La potencia generada por el prototipo, es muy pequeña solamente es capaz de encender LED's (diodo emisor de luz), un reloj y una radio. Sin embargo pueden hacerse versiones más grandes sin demasiada dificultad.

Sus ventajas, a pequeña escala, son evidentes: el movimiento que se produce en el aparato es de vibración de la membrana, que está anclada en sus extremos. No hay engranajes

móviles ni rodamientos, la tira elástica muy pocas veces llega a romperse. Incluso si así fuera, es posible para alguien con pocos recursos tecnológicos reemplazar la tira elástica con relativa facilidad. Comparado con reemplazar un panel solar roto.

#### 4.5 MOLINO MAGNETICO

El molino magnético también recibe el nombre de: unidad repelencia magnética (U.R.M) es un medio alternativo de generación de energía eléctrica, durante muchos años el hombre ha tratado inútilmente de crear un móvil perpetuo artificial que con su energía cinética potencie un dinamo, esto podría llegar a ser posible gracias a unidad de repelencia magnética

Este aparato debido a la simpleza de su estructura, es fácil de construir dando una rápida respuesta a la necesidad energética, de manera ilimitada, limpia y sin consumo de otra energía, figura 4.8.

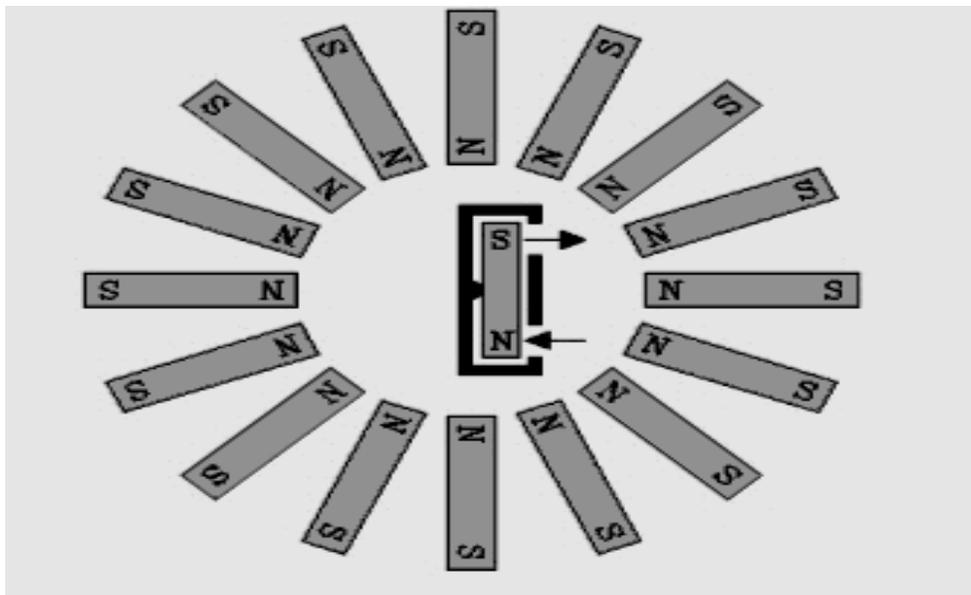


Fig 4.8 Estructura ideal de un molino magnético

Se piensa que el éxito de la U.R.M., se situara en primera posición sobre los demás medios alternativos de generar energía como son los combustibles fósiles y los biocombustibles la URM no contamina el ambiente, al no despedir gases tóxicos, este aparato utilizara simplemente dos tipos de distintas fuerzas combinadas, que son: la repelencia magnética y la fuerza centrífuga.

También este proyecto esta sobre los demás métodos alternativos de energía limpia como lo son la solar, térmica, geotérmica, hidroeléctrica, eólica, mecánica marítima,

etc. Estos métodos están sujetos a las variables condiciones climáticas, desgaste de materiales por estar sometidos a temperaturas extremas.

La URM, tiene la capacidad de evitar el desgaste de sus propias piezas, por crear un campo de repelencia magnética entre sus piezas importantes, prolongando su vida útil.

#### **4.5.1 FUNCIONAMIENTO**

La URM consta de un aro u orbital firmemente sujeto a una base, el diámetro del aro esta relacionado proporcionalmente al tamaño de los escudos que se encuentran predispuestos unidireccionalmente en su interior. Esta sucesión de escudos deben estar todos emplazados en dirección de un mismo polo, todos negativos o positivos.

La hélice magnética (HM) que gira sujeta a su propio eje en el interior del aro, consta en sus extremos de escudos o magnetos de cara y casi rozándose con los escudos predispuestos en el aro, para que gire esta hélice, los escudos del interior del aro como los del extremo de la hélice deben de repelerse mutuamente, es decir, mismos signos se repelen; iniciándose inmediatamente una fuerza de repelencia entre los escudos que hacen que la hélice gire en una misma dirección.

Después de la fuerza de repelencia se inicia la fuerza centrífuga que según sea las dimensiones y peso de los escudos en los extremos de la hélice, dará un incremento o decremento en las revoluciones o giros.

Lo anterior, proporcionara una fuerza de torque en el eje de la hélice que es la fuerza resultante que usaremos para mover cualquier dinamo o motor generador de energía eléctrica, quedándonos con la opción de obtener un porcentaje de energía eléctrica extra al conectarla de retorno al aro y así inducirles a los escudos mayor fuerza de repelencia. La URM tiene la capacidad única de auto alimentarse de su misma energía de descarga y convertirla en mayor energía de repelencia para los escudos.

Una de las desventajas de la URM es que, no es capaz de generar energía eléctrica por sí misma, pero si de ejecutar por medio de la repelencia magnética un movimiento mecánico que es el de rotar su hélice obteniendo una fuerza de torque según sus dimensiones, pureza de escudos y porcentaje de carga de su descarga debido a la composición química de los materiales.

Es importante mencionar que la materia prima básica de la cual estarán compuestos nuestro escudos reflectores repelentes son el hierro de máxima densidad molecular,

siendo algunos de ellos los mas idóneos el acero manganeso o acero tungsteno, también el mineral de hierro llamado piedra iman ( $Fe_3O_4$ ) así como los derivados de la magnetita. Los escudos reflectores, deben estar fabricados de una alta pureza metálica, para que tengan mayor repelencia al momento de provocar la cascada magnética de repelencia. Todo este trabajo de ingeniería nace de aplicar las leyes físicas, moleculares y químicas a las que están sujetas los materiales.

#### 4.6 PROTOTIPO WINDSIDE

Este novedoso aerogenerador de eje vertical es un prototipo concebido por la empresa finlandesa Windside.

En la figura 4.9 y 4.10 se pueden apreciar un par de estos aerogeneradores capaces de entregar 50 [kW] y que tienen la tarea de climatizar un centro comercial en las cercanías de Turku (Finlandia).

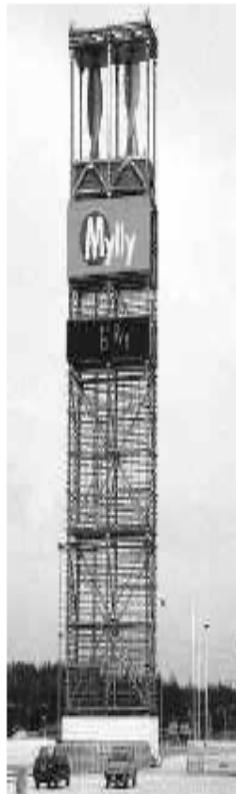


Fig 4.9 Turbinas Windside

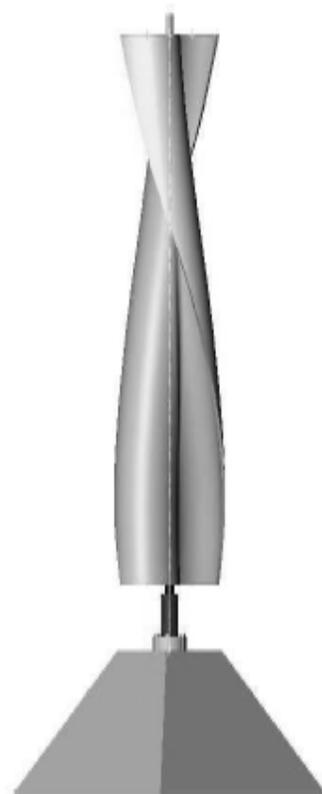


Fig 4.10 Detalle turbina Windside

Esta tecnología es relativamente nueva y prometedora, con rendimientos similares a los aerogeneradores de eje horizontal, es aplicada para abastecer medianos y pequeños consumos. El concepto aerodinámico es lo que lo hace distinto e interesante respecto a los otros aerogeneradores.

## CONCLUSIONES

Países desarrollados están explotando cada vez más el recurso eólico, invirtiendo enormes recursos económicos en ello. Sin embargo, esta práctica no es exclusiva de los países desarrollados. La India, país de grandes contrastes sociales, es el mejor ejemplo de ello, apostando fuertemente a la explotación de este recurso natural como fuente permanente de energía. Se tiene la esperanza que India no resulte ser la excepción que confirme la regla, sino la inspiración para que otros países en vías de desarrollo (como el nuestro) impulsen la creación de una plataforma científica, económica y legal que promueva la explotación de este recurso renovable, limpio y gratuito.

En conclusión, podemos decir que la ocupación de la energía eólica en diferentes partes del globo, está siendo utilizada como alternativa energética, ya que esta energía es una de las que menos contaminan, no daña la capa de ozono, no destruye el suelo ni contamina el aire. La producción de este tipo de energía se puede obtener mediante varios mecanismos en combinación con otros de variados tipos. Pero emite otro tipo de contaminación como la acústica, además de la alteración del paisaje natural.

En general, es muy utilizada en algunos países industrializados de Europa, Argentina y los Estados Unidos. En nuestro país la inclusión de nuevas tecnologías ha permitido generar plantas piloto de producción de energía eólica, debido a que está en un periodo de investigación donde no se ha llevado a cabo la obtención de esta energía a mayor escala.

Los beneficios de este tipo de energía, son a nuestro entender, es que nos proporciona energía de una manera más económica, limpia e inagotable, ha diferencia de otras fuentes que nos pueden proporcionar energía como por ejemplo el petróleo que es más caro, contaminante y es un recurso no renovable.

Actualmente vivimos en un mundo donde la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías y alternativas energéticas, se han vuelto cada vez más importantes debido a que algunos de los procesos con los que hoy en día se genera la energía eléctrica contaminan nuestro planeta, y es de suma importancia que el desarrollo de la energía eléctrica se siga dando.

Es importante que consideremos el uso de nuevas tecnologías para el desarrollo de sistemas de generación de energía eléctrica, ya que de esta forma ayudamos a la preservación de nuestro medio ambiente ya que las nuevas tecnologías pretenden generar energía eléctrica sin provocar ningún tipo de contaminante.

No obstante, estos recursos se encuentran lejos de los grandes consumos y presentan complicaciones técnicas (transporte de la energía) que se traducen en mayores costos a la hora de invertir en su explotación.

Sin embargo el recurso eólico representa una atractiva solución económica, ecológica y técnica para abastecer consumos aislados, ubicados en las inmediaciones de estos recursos.

El resumen sobre el desarrollo histórico de la explotación de la energía eólica proporciona una visión general de los problemas que se han presentado a lo largo de los años y que han sido resueltos con el tiempo, la experiencia y las nuevas tecnologías. De esta misma manera se ofrecen antecedentes que intentan explicar el constante incremento de interés que el recurso eólico ha adquirido en los últimos 15 años. Se observa una clara tendencia a desarrollar la explotación de los recursos renovables, por un lado por el agotamiento de los combustibles fósiles y por el otro, la preocupación por la alteración climática que está sufriendo el planeta por el denominado efecto invernadero.

Se ha aportado la información necesaria para iniciar proyectos que estén dirigidos a la generación de energía a través del viento.

## GLOSARIO

|                            |                |  |
|----------------------------|----------------|--|
| <b>Aislante</b>            |                | Un material aislante es aquel que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente unidos a sus núcleos, prácticamente no permite sus desplazamientos y por ende, el paso de la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos del mismo. Material no conductor que, no deja pasar la electricidad. |
| <b>Amperio</b>             |                | Unidad que mide la intensidad de corriente eléctrica. Se representa con una A, y su nombre se debe al físico Frances André Marie Ampère.   |
| <b>Central eléctrica</b>   |                | Es una instalación capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica.  |
| <b>Central eólica</b>      |                | Es aquella donde se aprovecha la energía obtenida del viento, ó la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en energía eléctrica.   |
| <b>Circuito eléctrico</b>  |                | Un circuito eléctrico es una serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores y fuentes, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales eléctricas.   |
| <b>Corriente eléctrica</b> |                | Movimiento de electrones sobre un material conductor. Su intensidad se mide en Amperios (A)  |
| <b>Capacitor</b>           |                | Dispositivo que almacena carga eléctrica cuando se le aplica una diferencia de potencial en sus terminales, se representa con una C, y su unidad es el faradio.  |
| <b>Conductor</b>           |                | Son los elementos metálicos, generalmente de cobre o aluminio, que puesto en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie.  |
| <b>Corriente (C.A.)</b>    | <b>Alterna</b> | Es el flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente de sentido.   |
| <b>Corriente (C.D.)</b>    | <b>Directa</b> | Es aquella cuyas cargas eléctricas o electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de fuerza electromotriz (FEM)   |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Cupla</b>                   | Par de fuerzas es un sistema formado por dos fuerzas de la misma intensidad o módulo, de la misma dirección (paralelas) y de sentido contrario.   |
| <b>Diferencia de potencial</b> | Es la presión que ejerce una fuente de energía eléctrica en eléctrico cerrado para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica, a esta fuente de energía también se le da el nombre de: tensión eléctrica, fuerza electromotriz (FEM) y Voltaje.                              |
| <b>Electrón</b>                | Es una partícula subatómica de carga eléctrica negativa.  |
| <b>Energía</b>                 | La energía es la capacidad de la materia o de un sistema para efectuar un trabajo.  |
| <b>Energía alternativa</b>     | Energía procedente de fuentes no convencionales.  |
| <b>Fuerza centrífuga</b>       | Es una de las fuerzas ficticias que parecen actuar sobre un objeto cuando su movimiento se describe según un sistema de referencia en rotación.   |
| <b>Generador Eléctrico</b>     | Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.  |
| <b>Inducción</b>               | Producción de corrientes llamadas corrientes inducidas en un circuito bajo la influencia de un imán.  |
| <b>Inalámbrico</b>             | Es el tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio de propagación físico alguno esto quiere decir que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan por el espacio sin un medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión. |
| <b>Kilowatt-hora</b>           | Unidad para medir los consumos de energía eléctrica. Equivale al consumo de un aparato de 1,000 W de potencia durante una hora.   |
| <b>Magneto</b>                 | También recibe el nombre de imán es un cuerpo o dispositivo con un campo magnético entre sus dos polos.   |
| <b>Magnetismo</b>              | Es un fenómeno por el que los materiales ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales ferrosos.  |
| <b>Panemona</b>                | Cuatro o más semicírculos unidos al eje central. Su rendimiento es bajo.  |

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>Potencia</b>    | Es el trabajo o transferencia de energía realizada sobre la unidad de tiempo. Su unidad de medida es el Watt (W).   |
| <b>Pila</b>        | Es un dispositivo que convierte energía química en energía eléctrica.   |
| <b>Resistencia</b> | Es la oposición que presenta un cuerpo al paso de una corriente eléctrica para circular a través de él. Simbolizada habitualmente como R. En el Sistema Internacional de Unidades, su valor se expresa en ohms, que se designa con la letra griega omega mayúscula $\Omega$ . |
| <b>Sabonius</b>    | Dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente.  |
| <b>Solenoides</b>  | Es un alambre enrollado en forma de hélice (bobina) o un número de espiras acorde a las necesidades, por el que circula una corriente eléctrica. Se utiliza en gran medida para generar un campo magnético uniforme.  |
| <b>Tecnología</b>  | Es el conjunto de habilidades que permiten construir objetos y máquinas para adaptarlos en el medio y satisfacer las necesidades de la humanidad.   |
| <b>Transistor</b>  | Es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador.   |
| <b>Watt</b>        | Es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W y su nombre se debe al físico Inglés James Watt. También se le denomina Vatio.  |

## BIBLIOGRAFÍA

Milton, Gussow (1988). **Fundamentos de Electricidad.** México: Mc Graw-Hill, 1ª ed.  
**Enciclopedia Autodidacta Interactiva** Océano. Editorial Océano. 1997.

Frederick, J (1988). **Física Para Estudiantes de Ciencia e Ingenierías.** México:

<http://www.upcomillas.es/catedras/crm/descargas/2005-2006/Libro-WEB.pdf> Consultada el día 12-02-2011

<http://www.renovables.com/eolica.htm> Consultada el día 15-02-2011

<http://www.clavius.es/entidad/inice/Ter/EOLIC/EOLIC03.htm> Consultada el día 22-03-2011

<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno03/alternativa.htm> Consultada el día 29-03-2011

[www.cfe.gob.mx/](http://www.cfe.gob.mx/) Consultada el día 06-05-2011

[www.elpais.es/suplementos/futuro](http://www.elpais.es/suplementos/futuro) Consultada el día 06-05-2011

[www.scribd.com/doc/3238225/GENERACION-DE-ELECTRICIDAD](http://www.scribd.com/doc/3238225/GENERACION-DE-ELECTRICIDAD) Consultada el día 07-06-2011

<http://www.altonivel.com.mx/energia-eolica-en-mexico.html> Consultada el día 08-07-2011

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/molinosviento/molinosviento.html> Consultada el día 08-07-2011

[http://www.peruecologico.com.pe/lib\\_c16\\_t02.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c16_t02.htm) consultada el día 09-07-2011

[http://www.educaplus.org/climatic/04\\_elem\\_viento.html](http://www.educaplus.org/climatic/04_elem_viento.html) Consultada el día 09-07-2011

<http://www.panchulo.com.ar/temas/viento/viento.html> consultada el día 10-07-2011