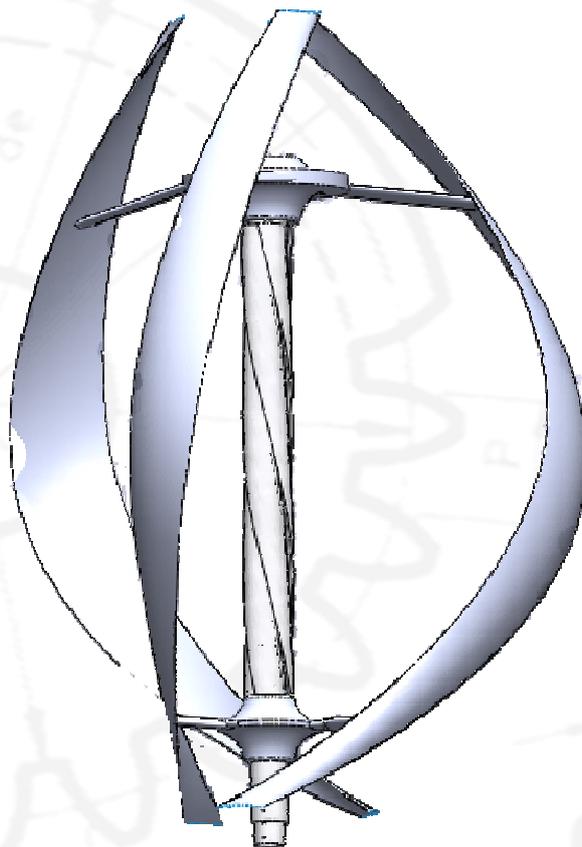


# VENTCAT

MASTER EN ENERGIAS RENOVABLES, EXPERTEDURIA EN ENERGIA SOLAR,  
EXPERTEDURIA EN ENERGIA EOLICA, FOTOVOLTAICA, EXPERTEDURIA EN  
ENERGIA SOLAR BAJA Y ALTA TEMPERATURA Y EXPERTEDURIA EN OTRAS  
ENERGIAS ALTERNATIVAS.



CON LA COLABORACION DE:



**Auditoría Salud**  
Tu formación, nuestro compromiso.

**ESTEVE**  
más cerca

PROYECTO REALIZADO POR:  
TUTOR:  
FECHA:

JUAN MANUEL TEJERO ALONSO  
ALFONSO CASTRO RODRIGUEZ  
JULIO 2011





## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es la exposición de un aerogenerador vertical urbano, llamado VentCat.

El proyecto se ha desarrollado, de manera que el lector, pueda entender y comprender todos los pasos necesarios, para el desarrollo de un aerogenerador, las explicaciones detalladas y cálculos del aerogenerador VentCat, están perfectamente detallada, desde conceptos de "idea" a como se ha desarrollado, para que cada uno, pueda deducir sus conclusiones y seguir los pasos, para desarrollar otro aerogenerador o mejorar el aerogenerador VentCat.

El propósito no era realizar simplemente un proyecto de un aerogenerador, sino que se podría decir, que es un manual para todo aquel que quiera desarrollar un nuevo aerogenerador.

Juan Manuel Tejero Alonso



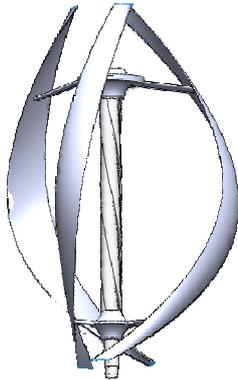
## MEMORIA DESCRIPTIVA

### 1- INTRODUCCION.

9

**Ventcat**, es un Aerogenerador de Eje Vertical, diseñado especialmente para entornos urbanos y rurales. Capaz de generar una potencia máxima de 10 KW(220v/380v).

Se ha diseñado para poder fusionarse con el entorno Urbano, minimizando el impacto visual, con una eficiencia excelente, sin apenas vibraciones y un nivel de ruidos muy bajo, hacen del aerogenerador **VentCat**, la mejor opción para los entornos Urbanos.



**VentCat**, es el primer aerogenerador modular. Se ha diseñado con un eje Central totalmente modulable, con alturas que se pueden estar entre 1'5m y 6 m. Incorporando en la base los motores generadores. Se esta desarrollando también, un sistema de generador de tambor con imanes permanentes, en el eje central del aerogenerador.

**VentCat**, es el único aerogenerador, que puede modificar el color, adaptándolo al estilo del artista, para que pueda interrelacionarse con el medio y poder crear ambientes especiales, en lugares increíbles.

**Ventcat**, puede incorporar una estación meteorológica, luces y sistemas wifi, para emitir información de: rendimientos del equipo, energía suministrada, climatología, etc... Y aprovechando que los móviles actuales incorporan wifi, se pueden incluir: eventos de la ciudad, ofertas de centros comerciales, información de espectáculos, ofertas, etc..



### 2- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección de viento y por ello se les llama penémonos (todos los vientos). No precisan dispositivos de orientación; trabajan por la diferencia de coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento. Esta diferencia de resistencia al viento hace que el rotor sea propenso a girar sobre su eje en una dirección específica.

La principal ventaja del Modelo **VentCat**, es la de seguir funcionando cuando el viento supera los 100 Km/h. A partir de esa velocidad los generadores de eje horizontal deben frenarse y desconectarse, ya que su velocidad de rotación pondría en peligro su estructura, mientras que el modelo **VentCat**, de eje vertical puede seguir funcionando.

Otra particularidad del aerogenerador **VentCat**, es que son mucho más fáciles de reparar pues todos los elementos de transformación de la energía del viento se encuentran a un nivel más accesible.



### 3- ¿Por qué VentCat?

Porque es deber de todos nosotros, que podemos y tenemos el conocimiento, hacer lo posible para mejorar, respetar y garantizar la preservación del planeta.

Cada Kw de electricidad generada con VentCat, en lugar de carbón evita:

0,60 kg de  $CO_2$  (dióxido de Carbono)

1,33 gr de  $SO_2$  (dióxido de Azufre)

1,67 gr de  $NO_x$  (óxido de Nitrógeno)

" Nosotros debemos ser el motor del cambio, para preservar nuestro planeta, sabemos como, pero no tenemos claro cuando."

Juan Manuel Tejero



## CONTENIDO

- 1 MEMORIA DESCRIPTIVA**
- 2 INTRODUCCIÓN**
- 3 OBJETO PLAN DE TRABAJO**
- 4 PLAN DE TRABAJO**
- 5 CAPITULO 1**
  - 5.1 Características técnicas.
  - 5.2 Evolución y estado de la energía eólica Mundial
  - 5.3 Ejemplos de las políticas de promoción realizadas en España fueron:
  - 5.4 Evolución tecnológica de los aerogeneradores en España.
- 6 CAPITULO 2**
  - 6.0 Objetivos del proyecto.
  - 6.1 Savonius
    - 6.1.1 Mejoras aplicadas a VentCat.
  - 6.2 Darrieus
    - 6.2.1 Características Darrieus
  - 6.3 Darrieus tipo H o Giromill
    - 6.3.1 Mejoras aplicadas a VentCat.
  - 6.4 Prototipo Windside
    - 6.4.1 Mejoras aplicadas a VentCat.
  - .
  - 6.5 Conclusión del desarrollo Ventcat.
  - 6.6 Hitos para el diseño
  - 6.7 La Velocidad.
  - 6.8 Sistemas de control aerodinámico.
  - 6.9 Sistemas de control eléctrico
- 7 CAPITULO 3**
  - 7.1 Tipos de generadores
  - 7.2 Sistemas DC
    - 7.2.1 **Dínamos**
    - 7.2.2 Alternador en continua
    - 7.2.3 Sistemas CA
    - 7.2.5 Descripción generadores asincrónicos
    - 7.2.6 Generadores de inducción
- 8 CAPITULO 4**



- 8.1 Modelos para el uso de la energía eólica.
- 8.2 El viento y su energía.
  - 8.2.1 Tipos de viento.
  - 8.2.2 Energía útil del viento.
- 8.3 La ley de Betz y la máxima eficiencia de conversión.
- 8.4 La distribución de Weibull
- 8.5 La rugosidad
- 8.6 Rendimiento de los aerogeneradores.
- 9 CAPITULO 5**
- 9.1 El prototipo.
- 10 LAS HELICES**
- 10.1 FUERZAS SOBRE UN PERFIL
- 10.2 Fuerzas de arrastre y ascensional en perfiles fijos.
- 10.3 Acción del viento sobre el perfil. Potencia útil y rendimiento.
- 10.4 Hélice VentCat.
- 11 EJE CENTRAL HELICOIDAL**
- 12 CENTRADOR SUPERIOR VENTCAT**
- 13 CENTRADOR INFERIOR VENTCAT**
- 14 EL CONJUNTO**
- 15 CARACTERISTICAS SOPORTE TIPO AZOTEA**
- 16 CARACTERISTICAS SOPORTE EJE VENTCAT**
- 17 SISTEMA DE CONTROL**
- 18 SOFTWARE DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN**
- 19 PLANOS**
- 20 ANEXOS**



## 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

"Diseño y construcción de un prototipo de generador eólico de eje Vertical"

El presente proyecto consiste, en el diseño e implantación de un prototipo, de aerogenerador de eje vertical, para abastecer de energía eléctrica a zonas urbanas y pequeñas zonas rurales.

Esta iniciativa surge con el propósito de aprovechar el recurso eólico, en zonas urbanas, práctica poco habitual, aun considerando las innumerables aplicaciones que se les pueden aplicar, sin olvidar a los sectores de población aislados.

Una de las ventajas de VentCat, es que es un equipo totalmente modulable, capaz de fusionarse en cualquier entorno, con posibilidad de modificar sus colores y tamaño, para que se pueda integrarse de una forma más sólida, dentro de los centros urbanos, también puede incorporar una estación meteorológica, luces, sistemas wifi para emitir: rendimientos del equipo, energía suministrada, datos climatológicos y aprovechando que los actuales móviles incorporan Wifi, se pueden incluir eventos de la ciudad, festividades, ofertas de centros comerciales, información de espectáculos, alertas climatológicas, etc..

En el Aerogenerador VentCat, se ha tenido en cuenta el factor económico, costes, instalaciones y como no, diseñado para poder fusionarse con el entorno urbano, minimizando el impacto visual, con una eficiencia excelente, sin apenas vibraciones y con un nivel de ruidos muy bajo. VentCat es capaz de generar una potencia máxima de 10Kw (220v/380v)

Dentro de las familias de aerogeneradores, la de eje vertical presenta las estructuras más simples. La operación de los aerogeneradores de eje vertical se basa en la diferencia de coeficientes de arrastre entre las secciones expuestas al viento. Para llegar a un buen compromiso entre eficiencia en la conversión de energía y costes, se ha optado por realizar una modificación aerodinámica, respecto a los actuales aerogeneradores verticales. Esto significa incrementar levemente su coste económico (aumentando la complejidad estructural) consiguiendo un mejor rendimiento, en la generación de energía eólica.

Se creado un eje central con una geometría variable mediante alerones deformables, permite maximizar el arrastre del Aerogenerador consiguiendo un rendimiento más elevado y consiguiendo mejorar el arranque del Aerogenerador, para que pueda operar a velocidades de viento más bajas.



Es un diseño nuevo e innovador en Aerogeneradores de eje vertical.

Para asegurar un correcto suministro eléctrico, dispondrá de paquete de baterías, que mediante un microcontrolador, que dispone de un elevador de voltajes, podrá alimentar el paquete de baterías, cuando no cumpla con el requerimiento mínimo de voltaje.

El prototipo de Aerogenerador VentCat, se ha probado mediante una simulación de túnel de viento CATIA y la eficiencia de las hélices con el programa FLUENT, el resto del diseño se ha realizado con el programa SOLID WORKS donde también se ha verificado su resistencia ante las condiciones más adversas.

## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 Antecedentes

El viento es una de las más antiguas fuentes de energía conocidas. Los convertidores de energía eólica eran ya conocidos en la antigua Persia y en la China. Durante bastantes años, los barcos de vela constituyeron una importante utilización de la energía eólica. En el siglo pasado, los convertidores de energía eólica se utilizaban especialmente para accionar molinos, para moler granos y bombear agua.

Durante muchas décadas se han utilizado rotores muy pequeños a fin de suministrar energía eléctrica y calefacción a granjas, casas situadas en lugares remotos, para abastecer de energía estaciones meteorológicas y de retrasmisión, e igualmente para bombeo de agua, etc. Las posibilidades de utilización van aumentando, gracias a las inversiones tecnológicas de desarrollo y materiales de nueva generación, hacen mucho más viable los nuevos proyectos eólicos.

Debido al aumento de los precios de la energía primaria y la alta demanda de energía actual. Se está impulsando, el aprovechamiento de la energía eólica, como una de las fuentes principales de energía limpia, ya que es sumamente atractiva y ventajosa, no solamente para las empresas de servicios, sino para la economía de un país en general.



## 2.2 Ventajas actuales de la energía eólica

La energía eólica no contamina, es inagotable y retrasa el agotamiento de combustibles fósiles, contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento de energía en pleno desarrollo, con un nivel de madurez elevado y puesta a punto.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir con rentabilidad con otras fuentes energética tradicionales como las centrales térmicas de carbón (tradicionalmente el combustible más barato) y las centrales de combustible.

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 proceso muy favorable por ser limpio y exento de problemas de contaminación. Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles fósiles, durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna y la vegetación.

Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles: gas, petróleo, gasoil, carbón. Se reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Se suprimen los riesgos de accidentes durante el transporte: evitando limpieza de mareas negras de petroleros (Prestige), traslados de residuos nucleares, etc. No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: canalizaciones de refinerías o las centrales de gas.

En cuanto a la interacción con el medio ambiente, a utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo y erosión, es decir, no produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras.

Además, la energía eólica no produce tampoco ningún tipo de alteración sobre 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 lluvias ácidas. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.



Cada Kw/h de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:

- 0,60 Kg. de  $CO_2$ , dióxido de carbono.
- 1,33 gr. de  $SO_2$ , dióxido de azufre.
- 1,67 gr. de  $NO_x$ , óxido de nitrógeno.

La electricidad producida por un Aerogenerador, evita que se quemen diariamente, miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de carbón, en las centrales térmicas. Este mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1000 Kg de carbón. Al no quemarse esos Kg. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de  $CO_2$ , lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre  $SO_2$ , y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno  $NO_x$ , principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable. En cuanto a su transformación en electricidad, esta se realiza con un rendimiento excelente y no a través de aparatos termodinámicos con un rendimiento de Carnot, siempre pequeño.

En el año 2000, las compañías explotadoras pagaban una media de alquileres de 2400€/molino/año y a esto hay que añadir los impuestos municipales, licencias de obra etc. En el parque eólico de Arca, Gamesa instaló 21 Aerogeneradores en el año 2006, teniendo que pagar un alquiler de tierras de 140.000€/año. Esto indica la importancia y grandes inversiones de empresas privadas, hacia la generación de energía eólica.

## 2.3 Desventajas de la energía eólica.

El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica diseñar y fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras. Las alturas de los molinos superan a la altura de edificios de 10 plantas y en tanto a la envergadura de sus aspas alcanza la veintena de metros lo que hace encarecer su precio. El Aerogenerador VentCat, aprovecha las estructuras de los edificios para vencer esa altura, minimizando de esta manera los costes de instalación y mantenimiento. VentCat se ha diseñado con el objetivo de que todas las partes en contacto con el aire, sean partes activas, mejorando la eficiencia y rendimiento del Aerogenerador.

Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características, precisa emplazamientos que normalmente resultan, ser los que más evidencian la



# VENTCAT

Aerogenerador Vertical Urbano

presencia de las maquinas (Cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir alteraciones claras sobre el paisaje, que se ha evaluado, para poder diseñar el Aerogenerador urbano, integrándolo en la urbe y minimizando, tanto los costes de producción como los de instalación. Intentando minimizar de esta manera la instalación centralizadas de parques eólicos e incentivando la autosuficiencia energética. Vendiendo/Devolviendo, la energía que no se consume a la red eléctrica.

A continuación se adjuntan 3 fotografías, donde se puede apreciar la integración del aerogenerador VentCat, en diferentes entornos urbanos:



Universidades, Ayuntamientos, centros de convenciones, etc.



Plazas, Centros comerciales, etc.



Bibliotecas, Centros culturales, etc.



### 3 OBJETO PLAN DE TRABAJO

El objetivo general de este proyecto se basa en los siguientes objetivos:

- Proporcionar una visión del desarrollo histórico y de las distintas tecnologías involucradas en la generación eólica.

- Explicar el diseño del aerogenerador de eje vertical, llamado VentCat, que cumpla con requisitos básicos de diseño mecánico.

- Proporcionar un interfaz eléctrico que convierta la energía mecánica rotacional en energía eléctrica mediante un alternador, un sistema de control y un sistema de monitorización que permita abastecer y establecer un consumo de forma adecuada.

- Obtener datos que validen y comparen el prototipo desarrollado, con el fin de extrapolar diseños y poder lograr futuras mejoras.

- Para poder cumplir los puntos anteriores se optó por seguir, el siguiente plan de trabajo:

- Verificar y probar el funcionamiento del Aerogenerador VentCat mediante, programas de simulación de elementos finitos, Solidworks (estructura y montaje), Catia (túnel de Viento) y Fluent (diseño de las hélices):

- Verificar el correcto funcionamiento mecánico de todos sus elementos.

- Obtener y calcular curvas potencias vs viento (rendimiento).

- Implementar un sistema electrónico de control y regulación de voltaje.

- Definición del sistema de control.

- Instalación de un microcontrolador, que será el encargado de administrar la correcta generación de energía, para la carga de las baterías.



- Convertidor DC-DC que permita obtener un correcto voltaje en bornes, una correcta carga de las baterías y una posible conexión en paralelo con otros aerogeneradores VentCat.

## 4 PLAN DE TRABAJO

El tema de la generación eólica no es nuevo, considerando que involucra a la tecnología y desarrollo de innumerables áreas electricidad, mecánica, electrónica, fluidos, estructuras, etc.... El interés en mejorar los rendimientos de los aerogeneradores han hecho que actualmente, se estén diseñando y mejorando los rendimientos de los aerogeneradores.

Teniendo en cuenta, el breve lapso de tiempo en el que se ha empezado a obtener electricidad a partir de la energía cinética del viento, nos indica que actualmente estamos en el pleno auge del desarrollo y diseño de nuevos equipos de aerogeneradores que gracias a los programas de diseño de elementos finitos, se consigue simplificar la estructura de los aerogeneradores para minimizar costes y obtener resultados de diseño realmente precisos, gracias a las simulaciones.

Este proyecto se estructura en los siguientes capítulos:

### Capítulo 1:

Visión Macroscópica de la generación eólica. Situación Mundial de la energía eólica y de España. Evolución de la tecnología eólica en España.

### Capítulo 2:

Objetivos planteados para el desarrollo de un nuevo aerogenerador. Tipos de aerogeneradores verticales comerciales y mejoras aplicadas.

### Capítulo 3:

Introducción y presentación del prototipo VentCat y todas sus características, que forman el aerogenerador VentCat.

### Capítulo 4:

Modelos para el uso de energía eólica.

### Capítulo 5:

El prototipo.



EL último capítulo está dedicado a las conclusiones y a las discusiones inherentes al Proyecto realizado y sus resultados.

## 5 CAPITULO 1

En este capítulo, se realizará una visión lo más real posible de la situación actual que vive la energía eólica y en particular la tendencia en el desarrollo de los aerogeneradores.

El estado actual de la energía eólica permite su explotación con fiabilidad técnica, rentabilidad económica e impactos ambientales poco significativos.

La industria eólica ha superado la etapa de I + D y ya se explota de forma industrial. Las actuales máquinas de serie tienen potencias elevadas (del orden de 500-1000kW), por lo que los parques eólicos pueden alcanzar potencias totales muy importantes y su producción a niveles relevantes. Los impactos ambientales son reducidos y muy superados por las ventajas que implica la energía eólica frente a la térmica a la que sustituye.

### 5.1 Características técnicas.

El potencial eólico es técnicamente aprovechable y altamente sensible a la capacidad tecnológica de aprovechamiento. En este sentido, a medida que evoluciona el nivel técnico de los aerogeneradores, con el aprovechamiento de mayores rangos de velocidad del viento, los potenciales aumentan progresivamente.

El desarrollo de la energía eólica en los últimos años ha permitido alcanzar unos niveles técnicos avanzados, que se traducen en mayores potencias, mejores rendimientos y altas disponibilidades.

Actualmente, los aerogeneradores de las empresas líderes del sector son máquinas de unos 500-1000 kW frente a los 25/50 de hace algunos años. Estas potencias permiten alcanzar producciones muy importantes con un número reducido de equipos, lo que implica un mejor aprovechamiento de los emplazamientos. A título de ejemplo basta citar el caso de Dinamarca, donde sustituyendo las máquinas antiguas por nuevas, pasarían de producir el 2% de su energía eléctrica al 20%. La mayor parte de las máquinas que actualmente se instalan, tienen rotores de eje

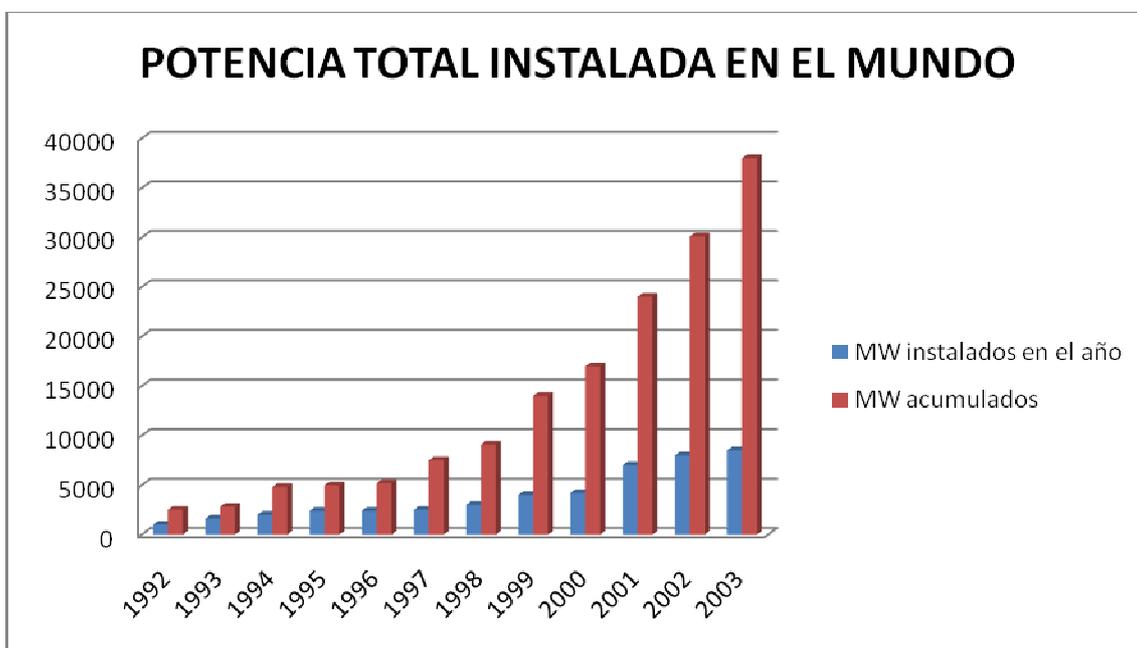


horizontal, de gran diámetro, situados en lo alto de grandes torres. Para 660 kW de potencia nominal, las torres suelen ser de 40-50 m de altura y la longitud de las palas es de 20-25 m. Como la energía que se extrae del viento es función del área barrida y no de la superficie de las palas, el número de éstas varía entre 1 y 3, aunque, por razones de simetría y equilibrio de esfuerzos, la mayor parte de los modernos generadores eólicos se construyen con tres palas. Las palas giran a velocidad fija o variable, y se acoplan, con un multiplicador, o un alternador. Las de velocidad fija, se orientan en función del empuje aerodinámico para mantener las revoluciones.

La corriente eléctrica, generada a baja tensión, es conducida por cables a la base de la torre donde se transforma a media tensión y se conduce, con canalizaciones enterradas, hasta el centro de transformación del parque, del que sale la línea para la conexión con la red de alta tensión.

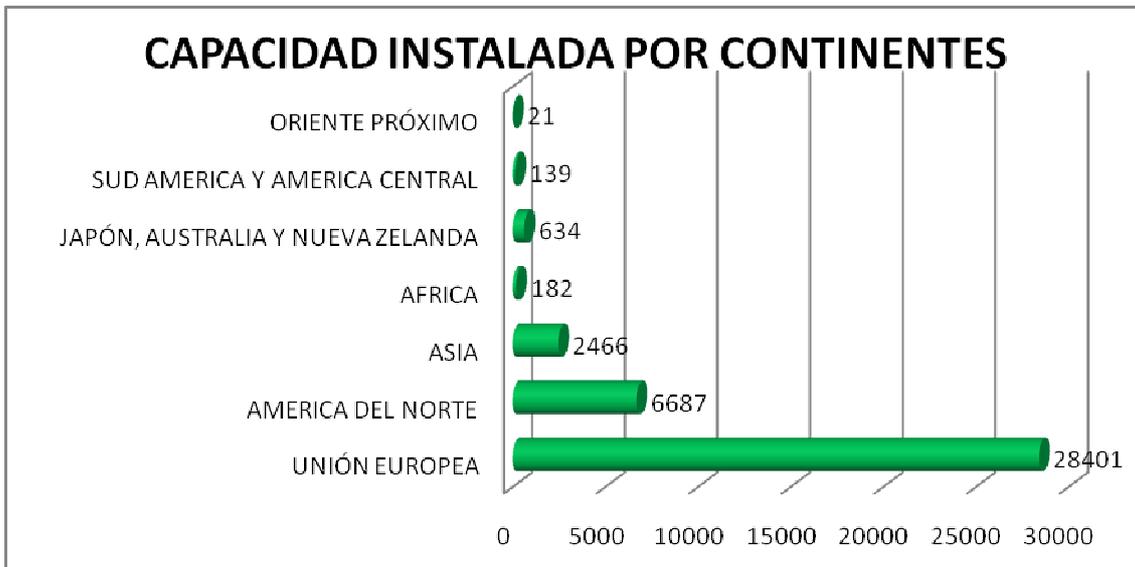
## 5.2 Evolución y estado de la energía eólica Mundial

En la siguiente gráfica se representa la potencia total instalada en el mundo, desde el 1992 al 2003. Tal y como se puede apreciar en la gráfica, el verdadero salto al desarrollo se da entre el 1998 y 1999, donde muchos de los Países ven en la energía eólica una energía alternativa a las fósiles.

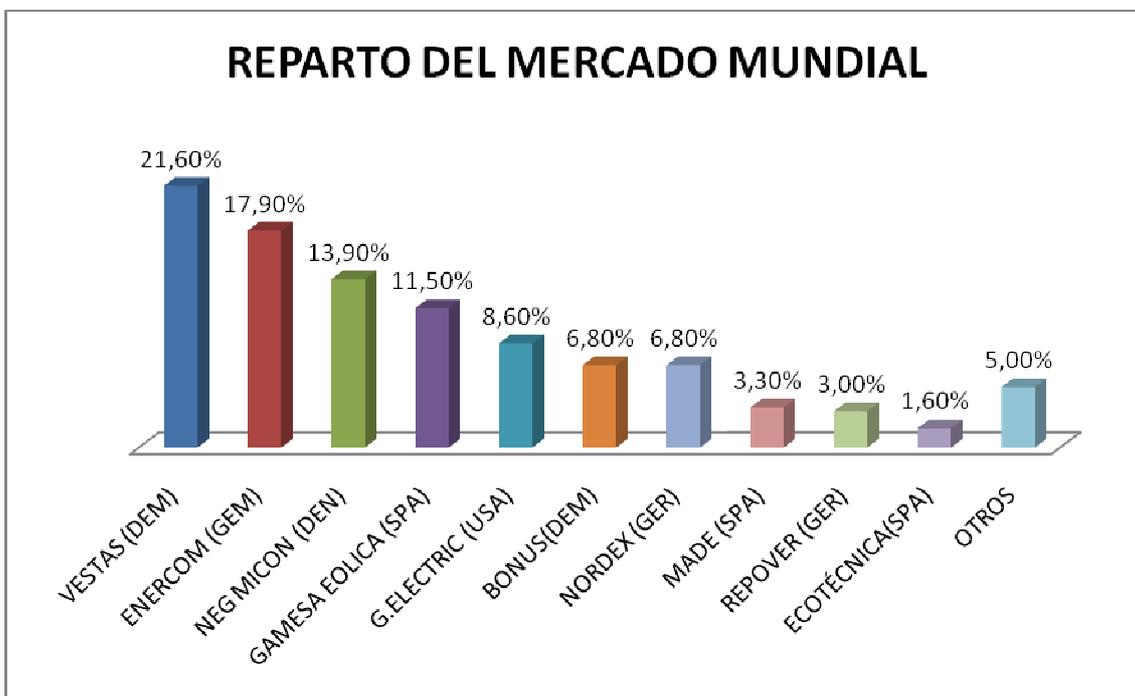




A continuación detallamos la capacidad de Mw, instalados por continente y como se puede apreciar Europa (Unión Europea), ha dado un gran impulso al desarrollo de la energía eólica mundial:



Como se puede apreciar en la grafica de reparto del mercado mundial, la mayoría de las empresas implicadas en el desarrollo de la energía eólica son europeas.





Como se ha podido apreciar, en la Unión Europea, es donde se ha priorizado las áreas de I+D+I, del mundo, mediante:

- ❖ Estudio de mercado, desarrollo de políticas de promoción y análisis de beneficios económicos de la energía eólica.
- ❖ Estudios de impacto medioambiental y social.
- ❖ Desarrollo de aerogeneradores y componentes.
- ❖ Evaluación, estandarización y certificación.
- ❖ Integración en red: Predicción de potencia eólica, almacenamiento de energía.
- ❖ Operación y Mantenimiento.
- ❖ Localización y desarrollo de parques eólicos.
- ❖ Tecnología para desarrollo de la eólica marina.
- ❖ Aerogeneradores de pequeña y gran potencia (Mega y Multi-MW).

### 5.3 Ejemplos de las políticas de promoción realizadas en España fueron:

#### **Ley del sector eléctrico, 54/1997 de 27 de noviembre de 1997**

- ✓ Principal objetivo: Liberalización del mercado eléctrico
- ✓ Establece un Régimen Especial para las E.R.( $< 50$  MW).
- ✓ Ofrece la Garantía de acceso a la red eléctrica.
- ✓ Implanta una prima para las energías renovables (compensación costes externos).
- ✓ Establece un plan de fomento de las energías renovables (12% elec. con ER en 2010)

#### **Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre de 1998**

- ✓ Definió el procedimiento administrativo para acogerse al Régimen Especial
- ✓ Estableció las primas (precio fijo o precio de mercado + prima).
- ✓ Reguló las relaciones entre productores y distribuidoras.

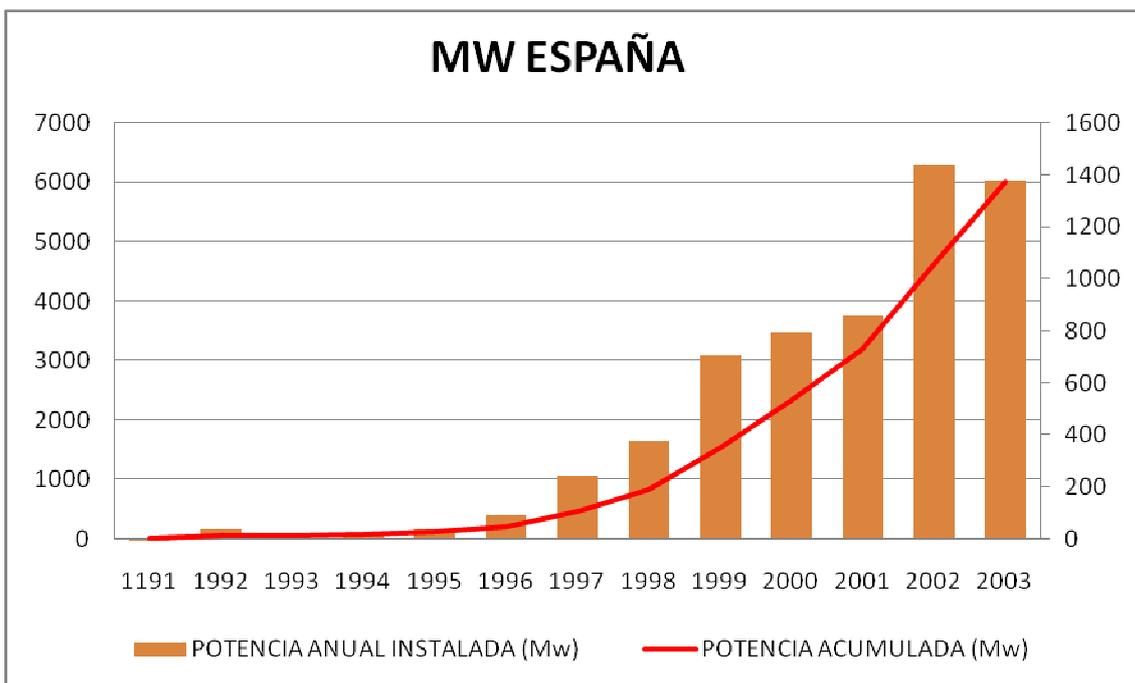
#### **Real Decreto 436/2004 de 12 Marzo de 2004**

- ✓ Establece las condiciones garantizadas durante la vida útil del proyecto.
- ✓ 90%TR(5 años), 85%TR(10 años) y 80%TR(resto de años) para parques entre 5 y 50 MW.
- ✓ 90%TR(15 años) y 80%TR(Resto de años) en parques de potencia menor que 5 MW.
- ✓ Establece una Tarifa de Referencia anual (TR = 7,2072 cE/kWh) para calcular todos los incentivos.

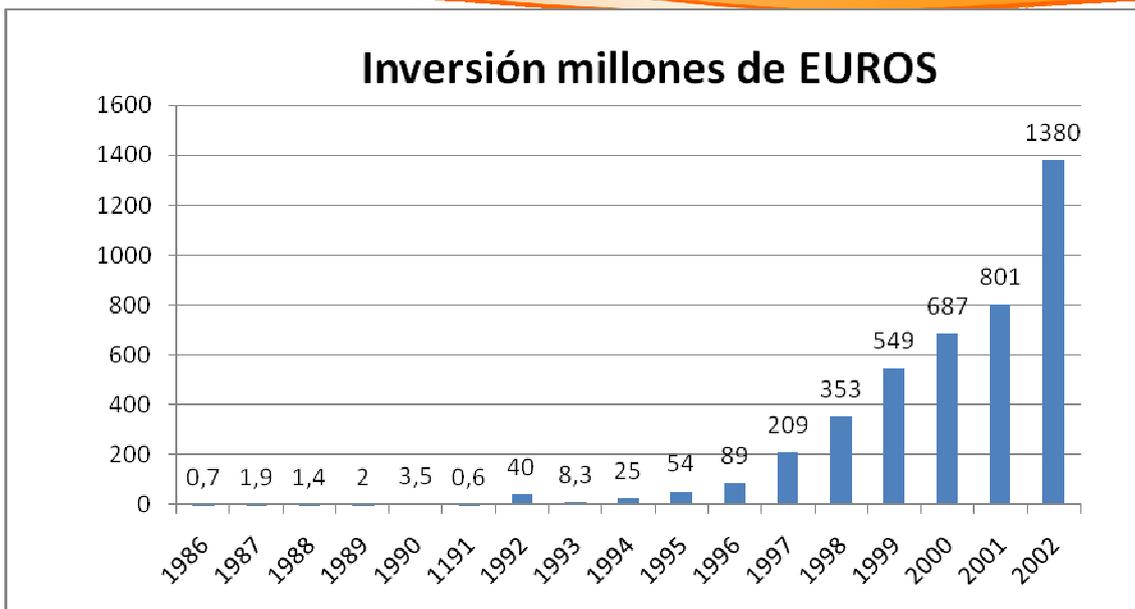


- ✓ El promotor puede acogerse a precio fijo vendiendo a la compañía eléctrica.
- ✓ Promueve el acceso a mercado mediante una prima (40%TR) + incentivo (10%TR)
- ✓ Exige la predicción de la potencia eléctrica para venta a compañía eléctrica.
- ✓ Bonifica los aerogeneradores que no desconectan en huecos de tensión (4%TR5 años)

Los buenos resultados de la política de promoción eólica en España, se pueden apreciar en la grafica, siguiente:



Demostración del crecimiento de la inversión anual en energía eólica. Ver grafica:



La situación Actual y Previsión Futura en Europa es:

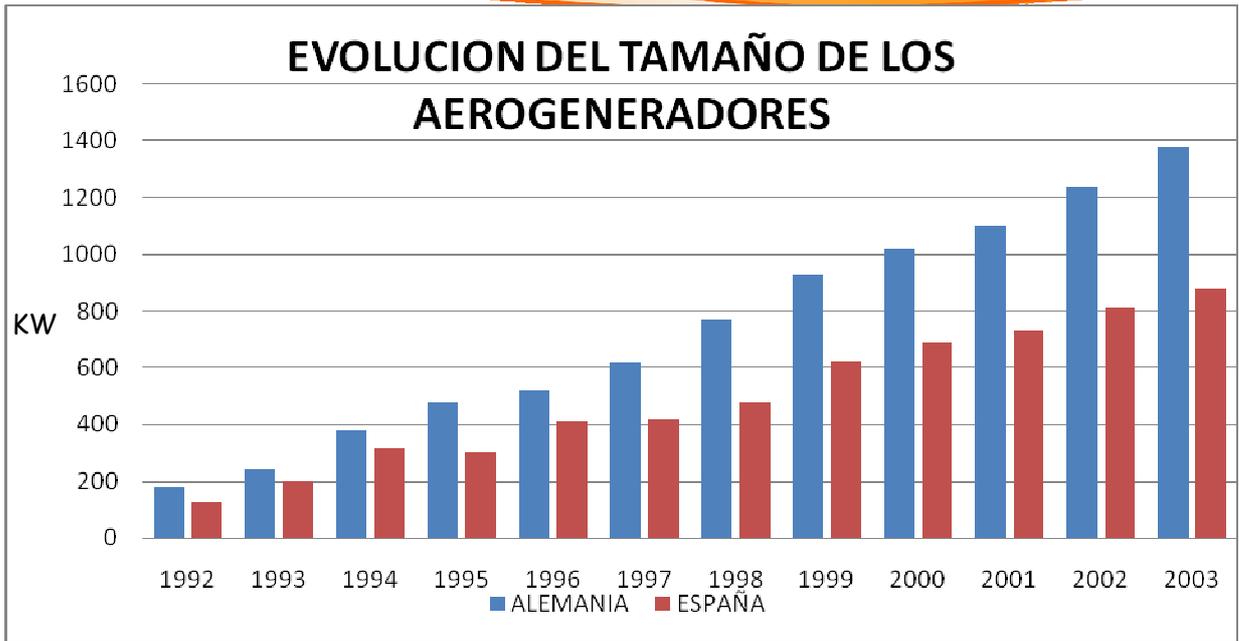
Primer objetivo: Alcanzar 40 GW en el año 2010 en la Unión Europea.

- Nuevo objetivo (abril 2002) : 60 GW en el año 2010 en la Unión Europea.
- Nuevo objetivo (junio 2003): 75 GW en el año 2010 en la Unión Europea.
- Previsiones consultora BTM : 90 GW en el año 2010 en la Unión Europea.
- Objetivo para la energía eólica en España: 13GW(año 2011) posición mundial, con más de 8,000 MW instalados (Diciembre 2004)
- Tres fabricantes españoles, GAMESA EÓLICA, MADE (ahora GAMESA-MADE) y ECOTÈCNIA, dentro de los 10 mayores fabricantes del Mundo en el 2002. Nuevos fabricantes como EHN-Ingeturo Mtorres están entrando en el mercado.

CLAVE: Recurso eólico y Marco legal estable con precios garantizados a largo plazo: Sistemas de tarifas con precios bonificados en reconocimiento a los beneficios medioambientales obtenidos.

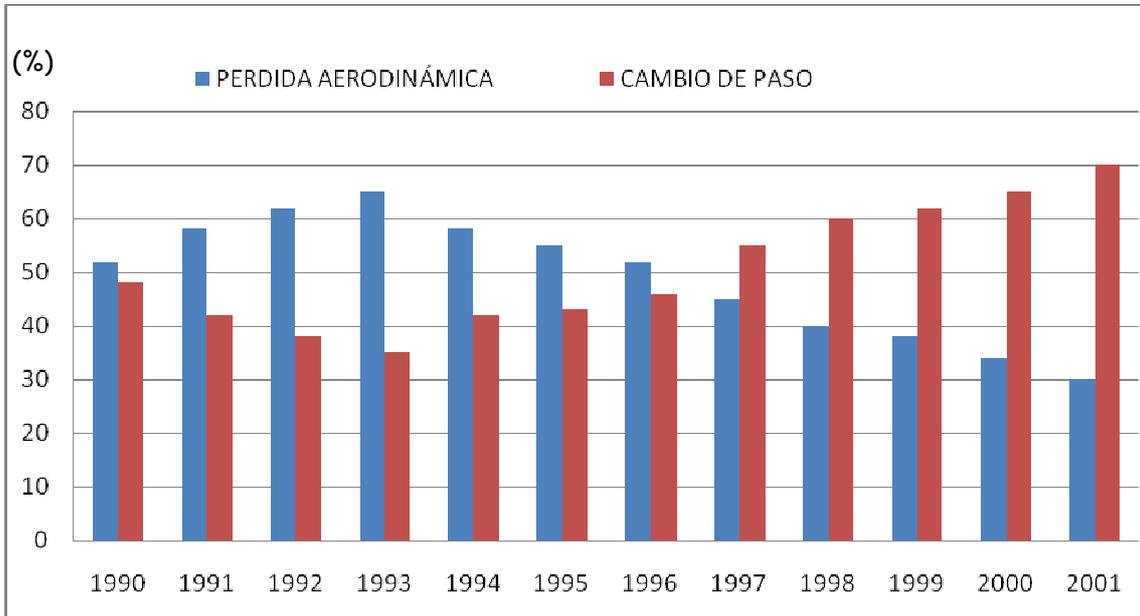
#### 5.4 Evolución tecnológica de los aerogeneradores en España.

El aerogenerador más utilizado en España, es el de eje horizontal, con tripalas a barlovento, con generador (rotor CC/rotor bobinado), multiplicador de ejes paralelos e instalados en torres tubulares de acero de grandes dimensiones. En España se ha pasado de instalaciones de 15 metros con una capacidad de 50 KW, en 1980 a instalaciones de 124m y 5000KW, en el 2004. A continuación plasmaremos gráficamente la evolución tecnológica de los aerogeneradores.

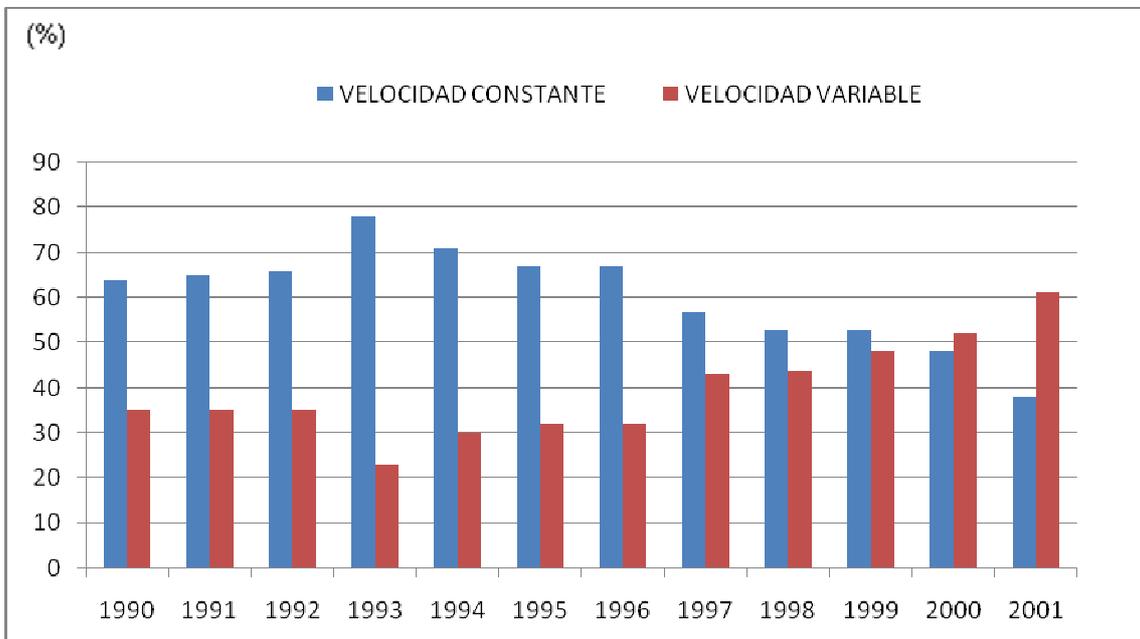




Gráfica de pérdida aerodinámica y cambio de paso:

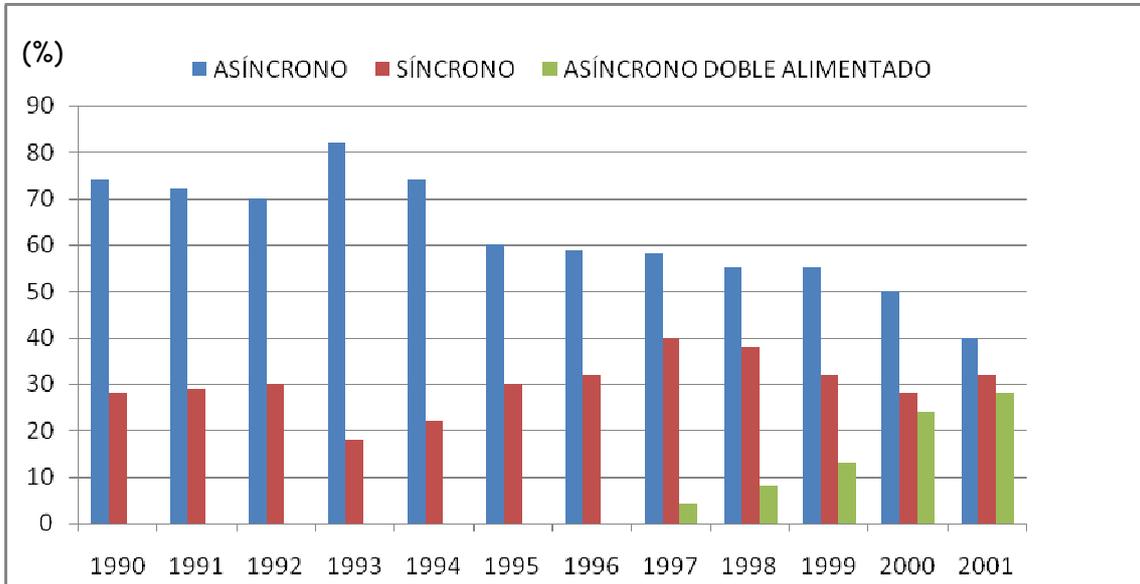


Evolución de los aerogeneradores de velocidad variable y velocidad constante.





Evolución de los motores Asíncronos, síncronos y Asíncrono doble alimentado.





## 6 CAPITULO 2

### 6.0 Objetivos del proyecto.

Los objetivos planteados para el desarrollo de nuestro nuevo aerogenerador VentCat, después del breve estudio de mercado, estado de las empresas Españolas, enfoque de donde se prevén las futuras inversiones, desarrollo de los equipos, políticas de promoción, futuras metas de desarrollo y el avance tecnológico planteados, que ha ido evolucionando de forma ascendente en los últimos años y continua, son:

- ✚ Reducción de costes de generación.
- ✚ Optimización del diseño.
- ✚ Incremento de la eficiencia.
- ✚ Simplificación de la tecnología.
- ✚ Aumento de la integración en la red.
- ✚ Reducción del impacto medioambiental.
- ✚ Reducción de los costes específicos de aerogeneradores.
- ✚ Reducción de costes de instalación.
- ✚ Mejorar el rendimiento de la transformación.
- ✚ Mejorar la disponibilidad.
- ✚ Incorporar los sistemas de comunicación WIFI, para poder una mayor rentabilidad.
- ✚ Reducción de costes mediante diseño asistido por ordenador.
- ✚ Diseños de fácil montaje y desmontaje.
- ✚ Reducir los Costes de mantenimiento y reparación.
- ✚ Realizar un diseño enfocado a las condiciones externas (Bajos//altos vientos, turbulencias, etc).
- ✚ Realizar un diseño estando frente a la humedad y evitar la corrosión de sus componenetes.
- ✚ Utilización de Materiales de última generación.
- ✚ Poder integrar el aerogenerador en cualquier entorno.

Hasta ahora, hemos estado observando los aerogeneradores de eje horizontal tripala, que son los aerogeneradores con mayor implantación. Considerando que el aerogenerador VentCat, diseñado es de eje vertical, realizaremos un pequeña introducción indicando los aerogeneradores existentes en el mercado actual.



Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección de viento y por ello se les llama panemonos (todos los vientos). No necesitan dispositivos de orientación; trabajan por la diferencia de coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento. Esta diferencia de resistencia al viento hace que el rotor sea propenso a girar sobre su eje en una dirección específica. A excepción del rotor Darrieus, los aerogeneradores de eje vertical operan con vientos de bajas velocidad donde difícilmente superan las 200[RPM]. Se emplean para generar potencias que van de los 200[W] a los 4[MW].

Este tipo de aerogeneradores, no tienen la necesidad de sistemas de regulación frente a los cambios de velocidad del viento, otra de las grandes ventajas es la de poder instalar a nivel del suelo, los generadores, minimizando el mantenimiento, instalación y reparaciones, este tipo de aerogeneradores no precisan de motor de arranque. Una de las desventajas de este tipo de Aerogeneradores, es que suelen estar instalados a nivel del suelo y no pueden conseguir el rendimiento de un eje horizontal, ya que la altura de la instalación es muy superior. Nuestro aerogenerador VentCat, se ha diseñado para poder instalarlo en azoteas, naves industriales, etc...

Este tipo de aerogeneradores no necesitan instalar torres de grandes dimensiones, no necesita motores de orientación y generalmente se caracteriza por tener altos torques de salida. Otra particularidad de estos aerogeneradores es que son mucho más fáciles de reparar puesto que todos los elementos de transformación de la energía, se encuentran a nivel de suelo.

El inconveniente de este tipo de turbinas es que el eje no se ubica a mucha altura y las velocidades del viento disminuyen a medida que nos acercamos al suelo por efecto de la rugosidad del mismo. Por eso el Aerogenerador VentCat, se puede instalar en las azoteas de los edificios, para poder mejorar el rendimiento y producción de energía.

La velocidad del viento crece de forma importante con la altura, la cual cosa propicio el desplazamiento de los Aerogeneradores Verticales, por los horizontales. Gracias al diseño y peso del aerogenerador VentCat, se pueden realizar las instalaciones en lugares urbanos, rurales y remotos, aprovechando la máxima altura del lugar. Sin tener que realizar grandes inversiones por instalar torres con alturas considerables para los aerogeneradores de eje horizontal.



## 6.1 Savonius

El modelo de rotor Savonius es el más simple. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual su dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S (ver figura 2.8); las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que giraran en el sentido que menos resistencia ofrezcan. Este sistema tiene el inconveniente de presentar una sobre presión en el interior de las zonas cóncavas al no poder salir el aire, perjudicando el rendimiento; el sistema queda mejorado separando ambas palas y dejando un hueco entre ambas para que se exista un flujo de aire.

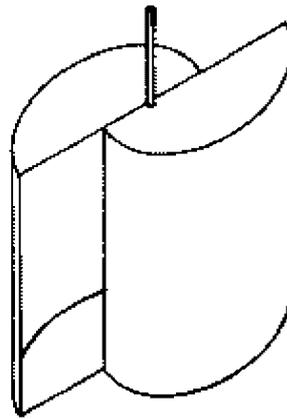


Figura 2.8: Rotor Savonius

Debido a la gran resistencia al aire que ofrece este tipo de rotor, sólo puede ser utilizado a bajas velocidades. El uso para generación de energía eléctrica precisara de multiplicadores de giro que reducirán el rendimiento. Es por tanto útil para aplicaciones de tipo mecánico, como el bombeo de agua.



En nuestro Aerogenerador VentCat, hemos aprovechado la idea del desarrollo del Aerogenerador Savonius, figura 2.9, para poder mejorar el arranque del Aerogenerador Ventcat, con la mínima velocidad de aire posible.

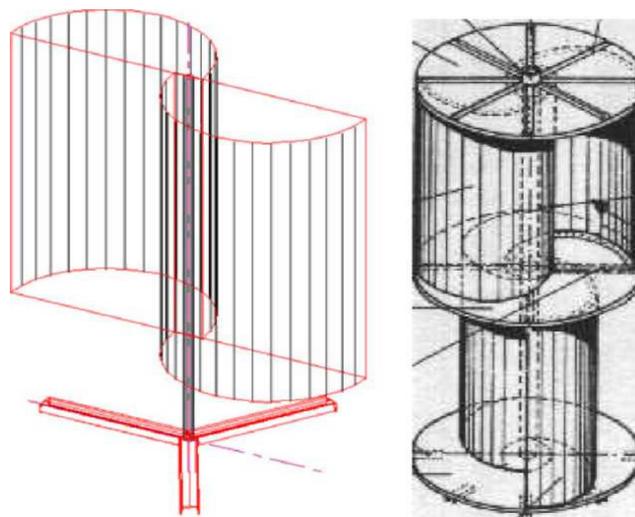


Figura 2.9: Detalle del rotor Savonius

Ese tipo de aspas cóncavas, las hemos instalado, en el eje central de nuestro Aerogenerador, para poder mejorar el rendimiento de arrancada. Dichas aspas cóncavas han sido modificadas y perfeccionadas, mediante programas de elementos finitos, hasta poder llegar a un diseño óptimo y de máximo rendimiento. Tal y como se puede apreciar en la Figura 3.0, se observan las partes cóncavas, similar al rotor Savonius.

Savonius palas cóncavas y hélices cóncavas VentCat

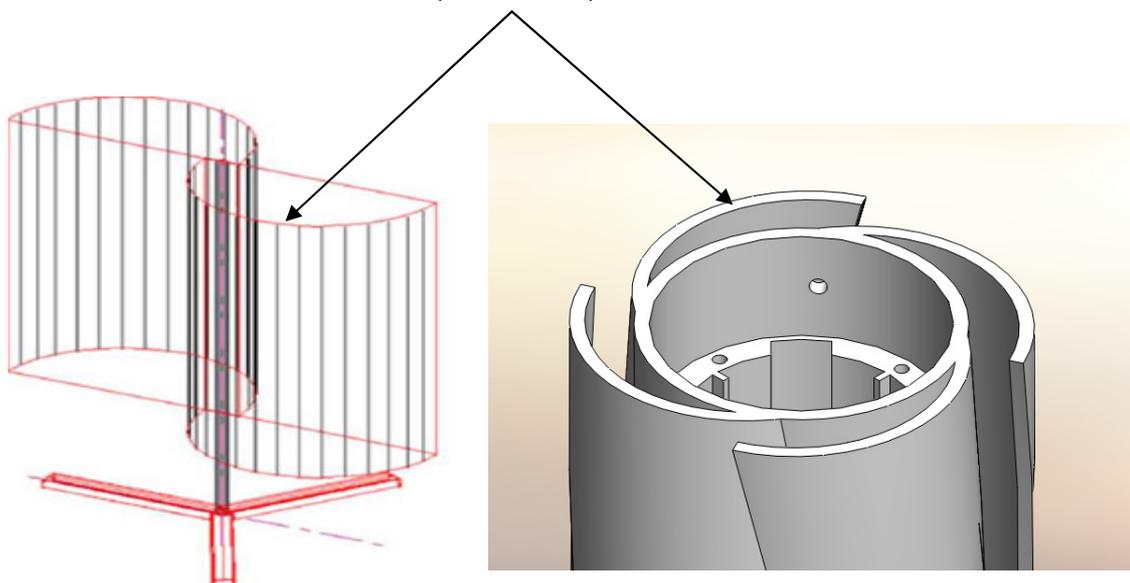




Figura 3.0, Rotor Savonius y Eje central VentCat

Las aspas diseñadas en nuestro eje central, no son rectas como en el Aerogenerador Savonius, sino, que se han diseñadas de forma helicoidal en toda la longitud del eje central (ver Figura 3.1), para poder mejorar el rendimiento, presiones interiores y paso del flujo de aire a través de las aspas, facilitando de esta manera considerablemente el arranque del aerogenerador VentCat.

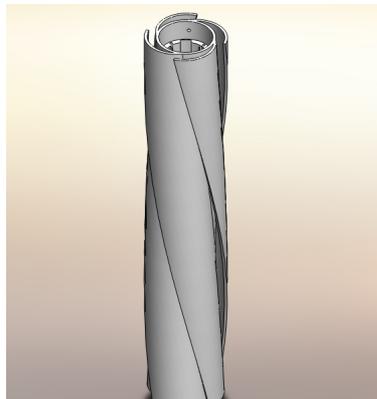
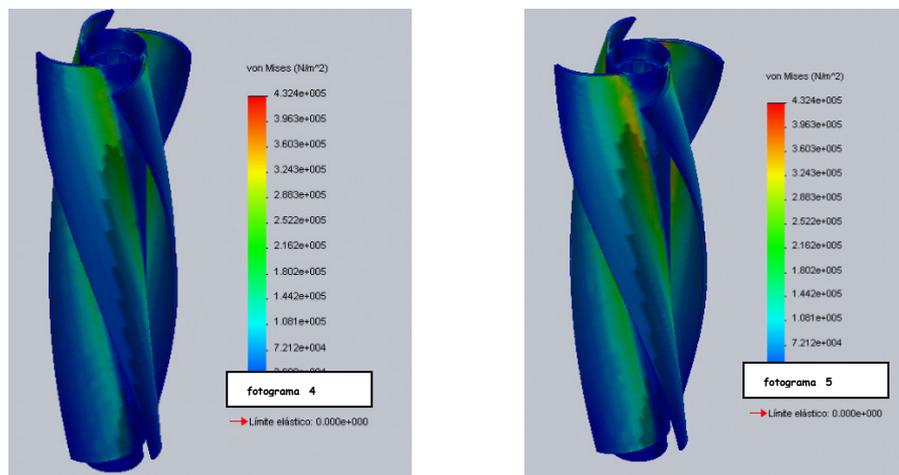
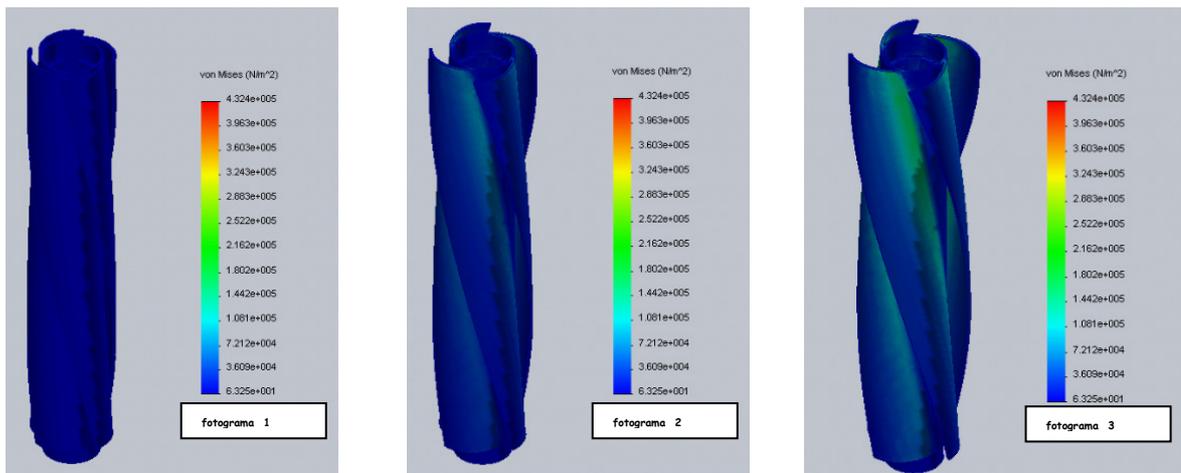


Figura 3.1, Eje central VentCat, hélices cóncavas helicoidales

A parte de realizar la instalación de las aspas cóncavas y de forma helicoidal en toda la longitud del eje, para poder acompañar al aire, dichas aspas pueden deformarse en el caso de tener sobrepresión, liberando el aire en exceso, sin que produzca daños en la estructura, sin que perjudique a la eficiencia y rendimiento del equipo.

Deformidad de Von Misses, aplicando una presión de 200N, en la parte interior de las hélices cóncavas(ver las siguientes figuras).



## 6.1.1 Mejoras aplicadas a VentCat.

Las ideas y mejoras realizadas respecto el Aerogenerador Savonius, solo en el eje central del Aerogenerador VentCat, son:

Rediseño de las Aspas cóncavas:

Mejora del perfil de las Aspas.

Mejora en el modulo elástico (Modulo de Young) para evitar el exceso de presiones en el interior de las aspas.

Instalación en forma helicoidal de las aspas:

Para facilitar el flujo del aire y mejorar el rendimiento y el empuje, facilitando de esta manera la arrancada del aerogenerador VentCat.



## 6.2 Darrieus

Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, este modelo es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical. Nace por la necesidad de evitar la construcción de hélices sofisticadas como las que se utilizan en los aerogeneradores de eje horizontal. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal.

Fue redescubierto por los ingenieros en los años setenta. Los *Laboratorios Sandia*, fueron los que más se implicaron en el desarrollo, mejora y evolución del Aerogenerador de tipo Darrieus y construyeron, en 1974, un primer prototipo de 5[m] de diámetro tal como se puede apreciar en la foto 6.1. Los análisis y estudios pertinentes fueron numerosos y profundos por parte de Los *Laboratorios Sandia*.



Foto 6.1: Darrieus de 5[m] de diámetro