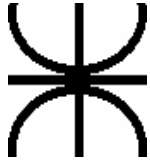


**UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
NACIONAL**



**FACULTAD  
REGIONAL  
CÓRDOBA**

**Departamento  
INGENIERÍA  
ELÉCTRICA**

# **MEMORIA DESCRIPTIVA**

## **TRABAJO DE DESARROLLO DE GENERADOR EÓLICO EXPERIMENTAL**

Profesor a cargo:

**Ing. IRICO, Adriano B.**



## **Fundamentos. Objetivos. Datos principales**

La extensión del uso de energías alternativas en el mundo, en especial la energía eólica, justifica plenamente cualquier trabajo de desarrollo que implique aumentar el caudal de conocimiento a fin de aprovechar nuestros recursos naturales.

Se conocen los fundamentos teóricos sobre aerogeneradores y sus aspectos tecnológicos generales de fabricación, pero existe escasa información sobre los modernos procesos de cálculo, diseño y construcción de tales objetos tecnológicos, a partir de la utilización de materiales livianos de más reciente obtención, tales como los plásticos a base de resinas de poliéster y epoxi reforzados con fibras de vidrio o de carbono, especialmente aplicados en las palas de los rotores o hélices captoras de la energía eólica. Tampoco se conocen detalladamente experiencias en la utilización de distintos tipos de máquinas eléctricas acopladas al captor, que resulten más convenientes según sean: potencias, lugares, velocidades de vientos disponibles, tipos de usuarios, etc..

El presente proyecto tiene por objetivos generales, desarrollar todos los procedimientos tecnológicos, teóricos y prácticos, necesarios para la construcción y explotación de aerogeneradores, inicialmente de baja y mediana potencia para, con posterioridad, extender las experiencias a potencias mayores.

Los generadores eólicos de baja potencia que se encuentran en el mercado, generalmente están equipados con generadores eléctricos de corriente continua o alternadores a imanes permanentes, monofásicos o trifásicos, que raramente superan un (1) kW de potencia. Nuestro proyecto, para ser justificable, debía superar estas características.

Así, la aplicación principal de la máquina en estudio, es brindar la posibilidad de construir, ensayar, perfeccionar y poner en funcionamiento los diferentes componentes del aerogenerador, partiendo desde la construcción del rotor y sus palas, el generador eléctrico propiamente dicho, sus sistemas de control, como así también el resto de componentes tanto mecánicos como eléctricos, indispensables para asegurar el adecuado funcionamiento de la misma, y lo suficientemente dúctil o adaptable, para facilitar el montaje y desmontaje, regulación (cuando fuere necesario), la observación del comportamiento cinemático, dinámico, de resistencia, desgaste, etc., en otras palabras, obtener la información experimental que se propone.



A los fines de poder contar con un generador instalado próximo a la localización de los lugares de trabajo del personal interviniente en el desarrollo (inicialmente 2 personas) pertenecientes a la Universidad Nacional de Córdoba y Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba (asociadas por un convenio ad hoc); fue necesario ajustar el proyecto a las condiciones impuestas por la localización geográfica, esto es:

- A)** Disponibilidad de vientos aceptables.
- B)** Tener una instalación que permitiera el acceso rápido y seguro a todos sus elementos constitutivos.

La construcción del aerogenerador debía demandar un costo bajo, acorde con los recursos económicos previsible, y que incluyera la totalidad de sus elementos (salvo el generador eléctrico a adquirir, y aquellos accesorios mecánicos eléctricos o electrónicos existentes en el mercado).

Con estos condicionamientos principales se decidieron las siguientes características:

- a.** Potencia Nominal 1,5kW.
- b.** Velocidad del Viento Nominal 7m/s (posible en Ciudad de Córdoba).
- c.** Velocidad del viento de inicio de giro del rotor no superior a 3m/s.
- d.** Rotor tripala con ángulo de asiento regulable automáticamente mediante regulador centrífugo.
- e.** Orientación mediante veleta posterior.
- f.** Elemento de soporte: torre de perfiles relativamente baja (6m de altura) rebatible, con articulación en la base, sin riendas; de acuerdo con el espacio asignado para la instalación.
- g.** Palas huecas de 2m de longitud, construidas con resina poliéster y fibra de vidrio, conectadas cada una al cubo del rotor a través de un tubo de acero de 0.5m de longitud.
- h.** Generador eléctrico asíncrono de 6 polos, conectado al rotor eólico mediante un multiplicador de velocidad de relación 1:8, rotor jaula de ardilla. Se diseñaron y



construyeron 2 rotores adicionales para recambio; un rotor de imanes permanentes y otro rotor bobinado a anillos rozantes y escobillas de presión de contacto regulable.

- i. Elementos de seguridad: 2 frenos, uno manual de zapata externa y otro automático de campana.
- j. Gabinete metálico intemperie, en el cual, se ubican los elementos de control, medición y carga, que incluye lámparas incandescentes y cargador de baterías.
- k. Dispositivo electrónico de excitación automática o manual.

Los materiales a utilizar fueron esencialmente elementos de diseño y cálculo para la elaboración de la documentación técnica en general. Resinas poliéster, fibras de vidrio en fieltros y rowing, metales semielaborados y elaborados, materiales aislantes, conductores eléctricos, maderas, etc. para la construcción del prototipo.

Los métodos serían los propios de la ingeniería del desarrollo: concepción, realización de bosquejos, trazados, cálculo de dimensionamiento y performance, diseño, elaboración de documentación técnica, construcción de modelos, moldes y piezas, armado de subconjuntos y conjuntos, montaje de un prototipo, ensayos de funcionamiento, de resistencia y puesta a punto.

En la actualidad se ha completado el proyecto hasta montaje del prototipo, estando en ejecución las etapas de puesta a punto y ensayos, en especial, los correspondientes a los dos rotores adicionales para el generador eléctrico.

Corresponde una especial atención al diseño, construcción y calibración de aparatos e instrumentos de medición, de lectura precisa y simultánea de distintas magnitudes (velocidades de vientos, rotación, corrientes y tensiones.





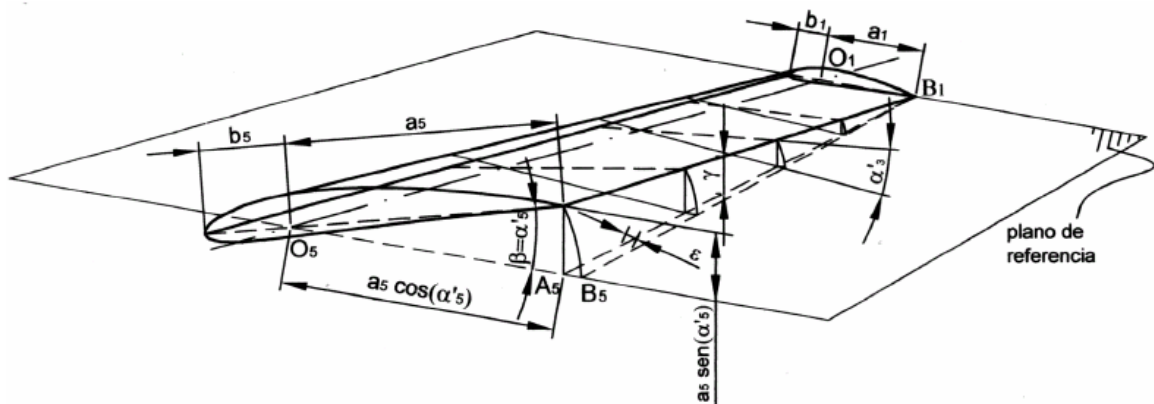
## Rotor captor de la energía del viento

En relación a los objetivos planteados como primera medida, se deben definir los elementos tecnológicos necesarios para captar, en forma eficiente, la mayor energía posible del viento, convertirla en energía mecánica de rotación, y transmitirla a los siguientes elementos de la cadena cinemática que la adecuarán a las condiciones que necesita el generador eléctrico, velocidad, momento y su entrega al mismo.

Por lo tanto, el primer paso que se realizó fue el cálculo de las palas, lo que incluyó las siguientes operaciones:

- a. Cálculo aerodinámico de acuerdo a la teoría de Glauert modificada, eligiéndose un perfil NACA 4412.

Se determinaron cuerdas y ángulos de calaje mediante el cálculo aproximado, cálculo exacto (teniendo en cuenta el efecto de la columna vorticiosa) y cálculo geométrico (por razones constructivas).



- b. Se determinaron por cálculo, los valores de fuerzas, momentos, potencias y sus curvas de variación respectivas (performances).

Se decidió adoptar ángulo de asiento variable, a fin de asegurar un fácil arranque con bajas velocidades de viento, mediante un dispositivo automático que permitiera en lo posible (según posteriores experiencias) utilizarlo como elemento de seguridad cuando las velocidades de viento superen los límites establecidos en el diseño.

- c. Con los valores anteriores se procedió al cálculo de resistencia de las palas, teniéndose en cuenta valores y diagramas de momentos flectores por acción de las



fuerzas normales, cálculo de las fuerzas centrífugas longitudinales, esfuerzos por ráfagas y determinación de las fuerzas por momento giroscópico.

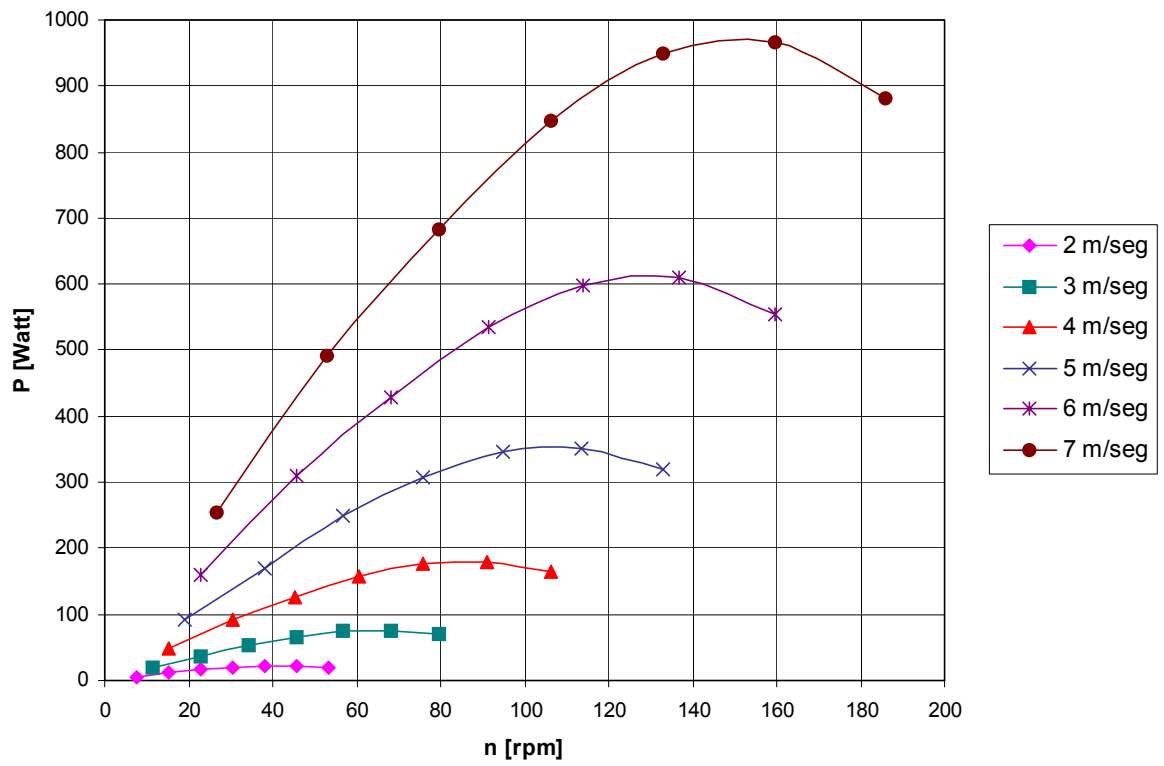
- d. Con la totalidad de los valores anteriores se determinaron tensiones de trabajo ( $\sigma_t$ ) resultando dimensionado el espesor del material de la pala (Resina poliéster reforzada con fibra de vidrio).
- e. La selección de la tecnología de fabricación estuvo condicionada por distintos factores decisivos, que condujeron a adoptar el método más artesanal y simple que se juzgó posible de realizar por una sola persona con un eventual ayudante, cuando fue necesario. Así se construyó un modelo según el diseño del cálculo geométrico, con material compuesto, a partir del cual se construyeron los moldes y, a posteriori, las palas definitivas. Se experimentó con fieltros de fibra de vidrio de distintos espesores y también con rowing de distinto granaje. Se detectaron los puntos críticos, entre los cuales se deben mencionar, las formas de unión del material plástico con el tubo de acero que vincula la pala con el cubo del rotor, así mismo, el efecto del momento giroscópico sobre las palas cuando actúan ráfagas fuertes con cambio brusco de dirección.
- f. Se completó el rotor con el cubo y el árbol. El cubo propiamente dicho está constituido por un disco de acero, al cual van unidas las orejas para montaje de las palas, el árbol del rotor del mismo material, cuidadosamente maquinados, y el aro periférico que oficia de campana de freno.



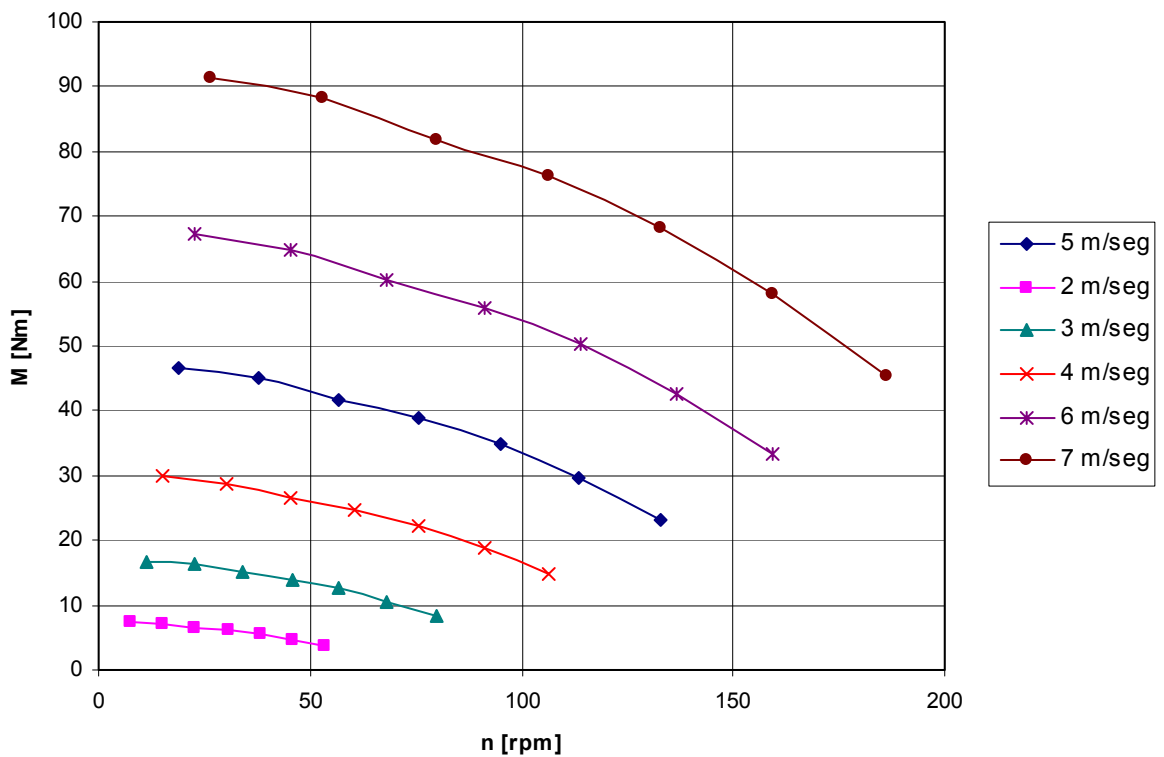


Trabajo de Desarrollo de Generador Eólico Experimental – Memoria Descriptiva

$P=f(n)$



$M=f(n)$





## **Base de soporte de todo el conjunto**

La base de soporte está constituida por una placa de acero rectangular reforzada por dos nervios longitudinales en su cara inferior, a fin de aumentar su rigidez. Esta placa base se ubica aproximadamente horizontal en el extremo superior de la torre sobre la cual se montará el aerogenerador.

Próxima al centro de esta placa, entre ambos nervios, se abulona una pestaña rectangular unida al extremo de un tubo de acero de longitud adecuada que, convenientemente maquinados, sirven de unión a la torre, permitiendo a su vez el movimiento de orientación.

En la cara superior de la placa base se montan todos los elementos activos del aerogenerador, a saber:

- a. El rotor captor de la energía del viento, encargado de transformarla en movimiento y potencia de rotación.
- b. El dispositivo multiplicador de velocidad, ya que el generador eléctrico debe girar a mayor velocidad que el rotor captor.
- c. El generador eléctrico con todos sus elementos de conducción de fluido eléctrico.
- d. Los mecanismos de comando de los frenos y los frenos mismos.
- e. El mecanismo de cambio de ángulo de asiento de las palas.
- f. Los dispositivos de regulación y medición de velocidad.
- g. El dispositivo de orientación según la dirección del viento. En este caso se optó por el sistema de veleta, unido a placa base en su extremo posterior a través de una estructura liviana de perfiles de hierro.

Sobre la placa base se abulonán tres placas a manera de cuadernas transversales, las cuales permiten fijar y alinear todo el sistema rotante (a, b, e).

## **Torre de soporte**

La torre, piramidal cuadrada, se construyó con cuatro perfiles ángulo (largueros) soldados a cuadros dispuestos a distintas alturas a fin de arriostrar los anteriores. El cuadro de la base, constituido de perfiles iguales a los largueros, lleva charnelas que





permiten el plegado de la torre luego de quitar las tuercas que la abulonnan a la base de hormigón. Esta operación se realiza con el auxilio de cable y malacate.

En el extremo superior, la torre se prolonga hacia arriba con un tubo de acero de 1m de longitud (lo cual, preferiblemente, debiera llevarse hasta 2.5m) con unión desmontable. En el extremo superior, este tubo permite la introducción del tubo de menor diámetro que, como se indicó anteriormente, se unía a la placa base, centrándose y guiándose con cojinetes de fricción y cojinete de empuje adecuados.

En la parte exterior del tubo, próxima al extremo, se dispone el sistema de conducción de la energía eléctrica, constituido por un conjunto de anillos rozantes convenientemente aislados, y escobillas metalográficas, protegidos contra los agentes atmosféricos.

### **Consideraciones sobre el sistema eléctrico**

El generador asíncrono con el que está equipado este aerogenerador es un simple motor trifásico de rotor jaula de ardilla que, hecho girar a una velocidad superior a la del campo magnético rotante del estator excitado, pasa a funcionar como generador.

Por lo expuesto, resulta indispensable que el estator esté previamente excitado, es decir, conectado a una fuente de corriente alterna trifásica, como podría ser una red eléctrica. Al funcionar como generador entrega su energía a la red en lugar de absorber la que le permitiría trabajar como motor. Como es lógico, la frecuencia de la tensión y la corriente viene impuesta por la red; esta es una gran ventaja cuando los aerogeneradores alimentan un sistema de distribución de gran capacidad o potencia, al cual aportan también generadores de otro tipo.

Si el generador ha de funcionar aislado y equipado con un generador eléctrico asíncrono, presenta el inconveniente de disponer de la fuente que lo excite. Sin embargo, si se tiene una fuente de corriente continua, como por ejemplo una batería común, mediante un dispositivo electrónico que convierta energía eléctrica de corriente continua en alterna, se resuelve el problema. No obstante, no debe perderse de vista que estos dispositivos electrónicos trifásicos no resultan de bajo costo.

Otra forma de lograr la excitación, como se sabe desde hace tiempo, es aprovechando el magnetismo residual o remanente que queda en el hierro del rotor y que, con el auxilio de un banco de condensadores conectados adecuadamente, posibilita que el



generador se excite y comience a entregar energía. Siendo esta la solución que se ha adoptado para el caso planteado.

En ciertos casos, con cargas muy inductivas, se suele perder el magnetismo remanente, deja de excitarse, en cuyo caso hay que restablecer dicho magnetismo mediante procedimientos (algunos también conocidos desde hace tiempo) a partir de la fuente de corriente continua (siempre necesaria), para lo cual, en los casos conocidos, es necesario detener el aerogenerador.

En nuestro caso se ha desarrollado un circuito electrónico bastante simple que permite recuperar la autoexcitación con el aerogenerador en marcha, mediante el simple pulsado de un conector, o en forma automática, lo cual asegura que continuamente estará generando. Asimismo, se dispone de la posibilidad de generar energía para la carga de baterías, aún a muy baja velocidad de vientos, del orden de  $2.6 \text{ m/s} \approx 9 \text{ km/h}$ , modificando fácilmente las capacidades conectadas.

Actualmente se estudian las más modernas técnicas de regulación y control a fin de poder experimentarlas.