



El Banco de Ensayo de Aerogeneradores (EN 04.1), está configurado como un túnel de viento de 2 metros de longitud diseñado a medida para aerogeneradores de hasta 630mm de diámetro, y en el que la zona de colocación del aerogenerador esta constituida por una cúpula completamente transparente, con lo que se consigue una visión inmejorable del aerogenerador en pleno funcionamiento. Además, el propio túnel está diseñado de forma que toda la parte superior de esta cúpula es corredera, para facilitar el acceso y manipulación del aerogenerador.

El túnel lleva incorporado un sistema de medición de la velocidad del aire mediante transductores de presión electrónicos, para monitorizar en tiempo real la velocidad del aire a que es sometido el aerogenerador.

Además, el nuevo sistema de control del ángulo de ataque (pitch) permite cambiar el ángulo en pleno funcionamiento, ya sea desde el ordenador o desde el software.

Todo el sistema, es monitorizado y controlado a través de un módulo de control, que también puede ser conectado a un ordenador a través de USB.



La turbina está completamente desarrollada y fabricada por DIKOIN, y dispone de sistemas electrónicos de medida de velocidad de giro así como de par. Además dispone de un sistema electrónico de regulación del pitch.

**DIKOIN**  
EN 04.1. BANCO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES

**2. PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO**

Para poner en marcha el equipo es necesario conectarlo a la red eléctrica a través de los dos cables de alimentación suministrados.

**NOTA:** El equipo dispone de un **encofre lateral** que permite autoalimentar el módulo de control.

A continuación poner en marcha el ordenador y conectar al mismo el cable USB desde módulo de control.

Accionar los interruptores de encendido del equipo.

4

**DIKOIN**  
EN 04.1. BANCO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES

**2.1. SISTEMAS DE SEGURIDAD**

1. Debido a que el aerogenerador adquiere una velocidad importante, el equipo cuenta con un sistema de seguridad de manera que cuando **SE ABRE LA DEFENSA SUPERIOR**, un elemento protector corta el suministro de energía eléctrica tanto al ventilador como al motor regulador. Igualmente, el módulo panel tiene un interruptor frontal que también permite interrumpir intencionadamente el suministro de energía eléctrica a los motores. Es importante cerciorarse de que la defensa superior está bien cerrada y el interruptor encendido, ya que de lo contrario el equipo no se pondrá en marcha. Asegurarse de que el seguro está bajado antes de accionar el aerogenerador.

2. Al ser un equipo diseñado para trabajar con varios tipos de palas, es posible que se trabaje por encima de la potencia de diseño del generador, con el riesgo de deteriorarlo, es por eso por lo que se ha programado un sistema de seguridad bastante sensible. Si se observa que **EL SISTEMA NO REGULA**, es decir no tiende a la velocidad de consigna, es que se ha activado el sistema interno de seguridad, en tal caso, simplemente apagar el interruptor del panel frontal, esperar 30 segundos y volverlo a conectar, el sistema está listo de nuevo para su correcto funcionamiento.

**NOTA:** Asegurarse de que el equipo se encuentre sobre las patas, o bien, si se encuentra sobre las ruedas, que los frenos estén fijados antes de la puesta en marcha.

5

El manual muestra claramente cómo se realiza el cambio de palas de la turbina, así como su colocación en un ángulo preciso.



## EN 04.1. BANCO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES

### 6. DESARROLLO TEORICO

La potencia de un flujo de aire es igual a la presión por el caudal, en el caso de un flujo de aire, la presión está en forma de presión dinámica, por lo que la presión será igual a:

$$p = \rho \frac{v^2}{2}$$

Sabemos que el caudal es sección por velocidad, para el caso de un aerogenerador, la sección será el área barrida por sus palas, con lo que:

$$Q = \frac{\pi * D^2}{4} * v$$

Por lo tanto la potencia total en forma de flujo de aire que llega a un aerogenerador será:

$$P_{viento} = p * Q = \rho \frac{v^2}{2} * \frac{\pi * D^2}{4} * v = \rho * \pi * D^2 * \frac{v^3}{8}$$

Según demostró Albert Betz en 1926, la potencia máxima extraíble de un aerogenerador es de 16/27 de la potencia total, es decir de 0,592 o lo que es lo mismo un 59,2%.

Con lo que la potencia de Betz tendría la expresión siguiente:

$$P_{Betz} = \frac{16}{27} * P = \frac{16}{27} * \rho * \pi * D^2 * \frac{v^3}{8}$$

Se denomina **coeficiente de potencia** a la fracción de la potencia total del viento que transforma en potencia un determinado aerogenerador, con lo que tenemos que:

$$P_{generada} = C_p * \rho * \pi * D^2 * \frac{v^3}{8} = C_p * P_{viento}$$

$$C_p = \frac{P_{generada}}{P_{viento}}$$

10



## EN 04.1. BANCO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES

Los aerogeneradores pueden tener en el rotor diferente número de palas, sabemos que a priori, un menor número de palas en el rotor nos permite una mayor velocidad de giro en el eje. La medida para esto es la denominada **velocidad específica**, cuyo valor resulta del cociente entre la velocidad tangencial de la punta de pala y la velocidad del viento, es decir:

$$\lambda = \frac{\omega * r}{v_{viento}}$$

11

El manual de prácticas muestra y explica todos los fundamentos teóricos, así como las fórmulas matemáticas utilizadas para la realización de toda la experimentación.



Accesorio Opcional: EN.S.041 - SOFTWARE BANCO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES  
Software para controlar y registrar todas las variables del equipo.

Con este software, los ensayos se pueden realizar de forma manual o automática, con tan solo indicar las variables requeridas e indicar de cuantos puntos deseamos la gráfica de resultados. De esta forma no se pierde tiempo en apuntar resultados y dibujar las gráficas a mano.

Dispone de:

- Sistema de calibración automático.
- Control de la velocidad del aire.
- Control del frenado del aerogenerador con PID.
- Realiza ensayos automáticos variando el parámetro requerido por el usuario de forma autónoma, y tomando los datos de cada punto.
- Los resultados pueden ser mostrados en tablas o gráficas en la pantalla del propio software, impresas o exportadas a Excel.
- Solamente requiere un ordenador con conexión USB y entorno windows 7 o superior.
- Se pueden realizar ensayos manuales o automáticos, donde se pueden controlar y registrar valores de:
  - Velocidad del viento.
  - Velocidad de giro de la turbina del aerogenerador.
  - Par de giro instantáneo en la turbina del aerogenerador.

etc.

**SOFTWARE EN.S.041 (OPCIONAL)**

El Banco de ensayo de aerogeneradores (EN 04.1) se puede equipar con un completo software de control y monitorización, con el que se agiliza de forma importante el trabajo de ensayo o prácticas.

**PRACTICAS Y ENSAYOS REALIZABLES**

- Medición de la potencia aprovechada por el aerogenerador.
- Determinación de las curvas características de la potencia recuperada por la máquina eólica en función de la velocidad del viento.
- Determinación del coeficiente de potencia del aerogenerador.
- Determinación del coeficiente de potencia en función de la velocidad específica.
- Obtención del coeficiente de potencia en función del ángulo de asiento del perfil.
- Intercambio de las palas de la máquina eólica, para análisis de las variaciones en función del perfil aerodinámico.
- Modificación del ángulo (pitch), para análisis de las diferencias entre distintos ángulos de ataque.

**DATOS TECNICOS DEL TUNEL**

- Longitud del tunel aproximada: 2 metros.
- Diámetro máximo del aerogenerador: 630mm.
- Velocidad del viento en el tunel regulable de 0 a 12m/s.
- Estructura realizada el aluminio anodizado, que aporta ligereza al conjunto.
- Patas regulables en altura para un correcto nivelado del equipo.
- Ruedas para traslado del equipo, 2 de ellas con freno.
- Cúpula en policarbonato transparente, con apertura para acceso al aerogenerador.

**DATOS TECNICOS DEL AEROGENERADOR**

- Diámetro del rotor: 612mm.
- Sensor electrónico de medida de revoluciones.
- Célula de carga para medición de par mecánico.
- Posibilidad de modificación del ángulo de paso de las palas, electrónicamente desde el módulo de control, o desde el software.
- Posibilidad de intercambio de las palas con 4 tornillos/pala, sin necesidad de desmontar el aerogenerador.

**SEGURIDAD**

- Sistema de seguridad que evita que el sistema arranque si la cúpula está abierta.
- Rejilla protectora en la campana de succión, que evita el acceso frontal.
- Rejilla protectora en la salida de aire.
- Parada de emergencia.

**PANEL DE CONTROL MANUAL**

- Dispone de una pantalla LCD en la que se muestran simultáneamente: % de frenado de aerogenerador, % de regulación de velocidad del aire, % de pitch, velocidad de giro del aerogenerador (rpm), velocidad del aire (m/s) y par mecánico resistente del aerogenerador (Nm).
- Potenciómetro de regulación del pitch del aerogenerador.
- Potenciómetro de regulación del frenado del aerogenerador.
- Potenciómetro de regulación de la velocidad del aire en el tunel.
- Interruptor de marcha o paro del sistema de frenado del aerogenerador.
- Selector de control desde módulo de control, o desde PC.

**REQUERIMIENTOS**

- Alimentación eléctrica: 230V/50Hz. (otras sobre pedido)

**NOTA**

- El software es opcional. PC no incluido.