



Energía Eólica

Curva de Potencia del Aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000

Realizada en el CEDER, Lubia (Soria)

Por la División de Energías Renovables del CIEMAT
Avda. Complutense 22
28040 – Madrid
España

Ministerio de Ciencia e Innovación

L. CANO, O. IZQUIERDO, E. SORIA, I. CRUZ

REVISIÓN 1

2 de Junio de 2008

REF 0806

Aprobada por: Ignacio Cruz Cruz

¿?/?/?/2008

Director de la Unidad de Energía Eólica

Fecha

Curva de Potencia del Aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000

Realizada en el CEDER, Lubia (Soria)

Por la División de Energías Renovables del CIEMAT
Avda. Complutense 22
28040 – Madrid
España

Ministerio de Ciencia e Innovación

L. CANO, O. IZQUIERDO, E. SORIA, I. CRUZ

REVISIÓN 1

2 de Junio de 2008

Jefe de División: D. Manuel Romero

Clave Proyecto: E22

Número de Ejemplares: 50

SUMARIO:

Este documento presenta los resultados obtenidos a partir de las medidas realizadas en un aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000 de la empresa BORNAY AEROGENERADORES S.L.U., instalado en la Planta de Ensayos de Sistemas Eólicos Aislados del CIEMAT. en las instalaciones del CEDER en Lubia (Soria), con el objeto de obtener las características funcionales del aerogenerador, y en particular sus actuaciones (Curva de Potencia).

ABSTRACT:

This report described the results of the power performance testing performed in the Windeco Bornay Inclín Neo 3000 wind turbine, installed at the CIEMAT Test Plant for Autonomous Wind Systems located at CEDER, Lubia (Soria), for power characterization of the wind turbine.

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	6
3.	DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR BORNAY INCLIN NEO 3000	10
4.	INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	14
4.1.	Medida de la velocidad de viento.	14
4.2.	Medida de la dirección de viento.	15
4.3.	Medida de la densidad del aire.	15
4.4.	Medida de la potencia generada por el aerogenerador.	16
5.	DATOS DISPONIBLES.	17
6.	ANÁLISIS DE LAS ACTUACIONES DEL AEROGENERADOR.	19
6.1.	Curva de Potencia Medida.	19
6.2.	Curva de Potencia Normalizada a condiciones estándar	20
6.3.	Análisis de la Curva de Potencia.	22
6.4.	Estimación de la Energía Anual a condiciones estándar.	28
7.	CONCLUSIONES	31

Anexo I: Características de los sensores de viento. Hojas de calibración
Anexo II: Cálculos de Incertidumbres

Relación de Figuras y Tablas

FIGURA 1. AEROGENERADOR BORNAY INCLIN NEO 3000EN LA PLANTA DE ENSAYOS DEL CEDER.....	5
FIGURA 2. PLANTA DE ENSAYOS CEDER.....	6
FIGURA 3 PLANTA DE ENSAYOS CEDER (VISTA AEREA).....	7
FIGURA 7. SALA DE BATERÍAS DE LA PLANTA DE ENSAYOS CEDER.....	11
TABLA II CARACTERÍSTICAS XANTREX SW4548E.....	12
FIGURA 8. INVERSOR XANTREX SW4548E	13
FIGURA 9. SISTEMA DE MEDIDAS DEL PUESTO A DE ENSAYOS	16
TABLA IV. CURVA DE POTENCIA MEDIDA.....	20
TABLA V. CURVA DE POTENCIA NORMALIZADA.....	21
FIGURA 9. CURVA DE POTENCIA NORMALIZADA	22
TABLA VI. COEFICIENTE DE POTENCIA.....	26
FIGURA 10. COEFICIENTE DE POTENCIA.....	27
TABLA VII. ENERGÍA ANUAL PRODUCIDA.....	28

1. INTRODUCCIÓN

Este Documento presenta los resultados obtenidos a partir de las medidas realizadas en un aerogenerador Bornay Inclín neo 3000, fabricado por la empresa Bornay Aerogeneradores S.L.U. instalado en la Planta de Ensayos de Sistemas Eólicos Aislados del CIEMAT en las instalaciones del CEDER en Lobia (Soria), con el objeto de obtener las características funcionales del aerogenerador, y en particular sus actuaciones (Curva de Potencia).

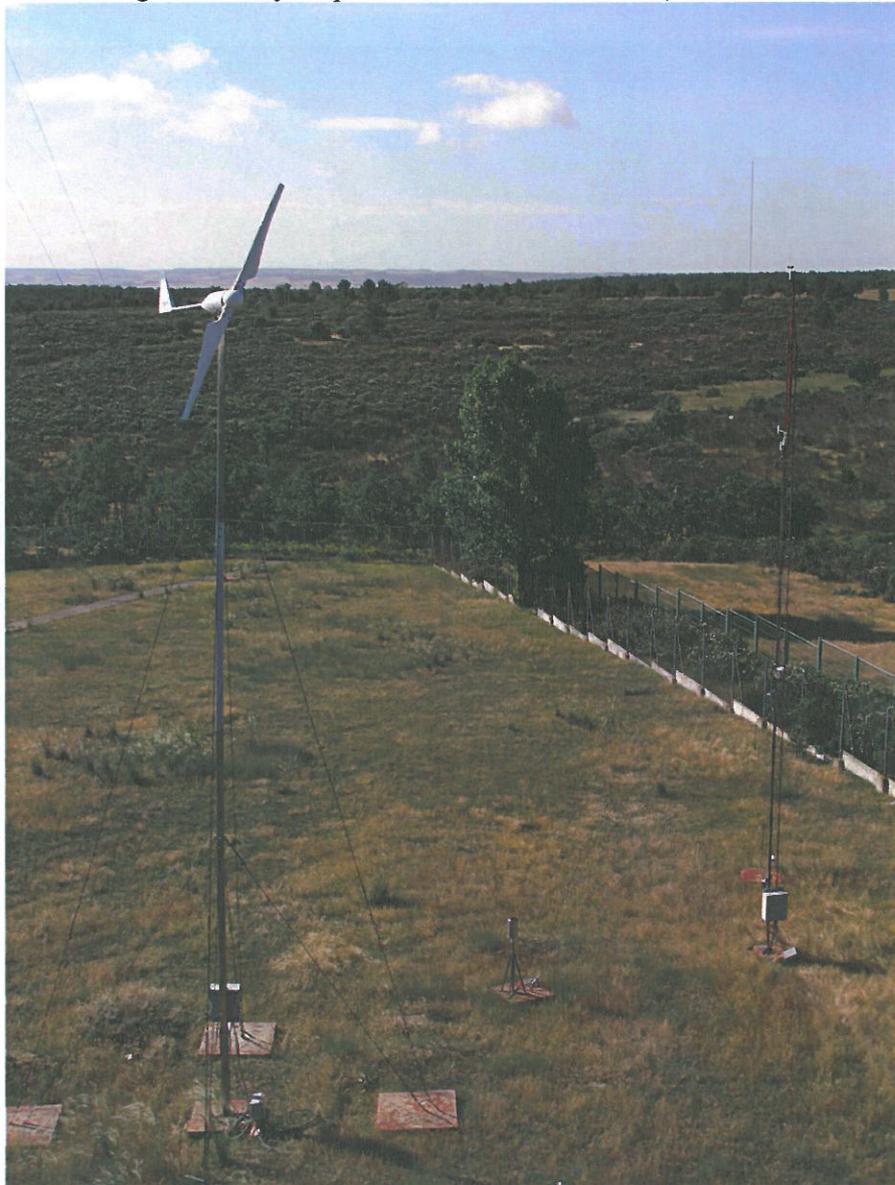


Figura 1. Aerogenerador Bornay Inclín neo 3000 en la Planta de ensayos del CEDER

2. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

El aerogenerador objeto de ensayo fue instalado en la Planta de Ensayos de Sistemas Eólicos Aislados del CIEMAT en las instalaciones del CEDER en Lubia (Soria).

Se adjuntan planos de la zona de instalación del aerogenerador y de la torre meteorológica instalada.



Figura 2. Planta de ensayos CEDER



Figura 3 Planta de ensayos CEDER (vista aerea)

En el área que ocupaba la Estación Meteorológica del CEDER (Lubia, Soria) se instaló la Planta para el ensayo de Sistemas Eólicos Aislados, según lo previsto en el Proyecto CIEMAT “Sistemas Aislados con Energía Eólica”.

El aerogenerador se instaló en el puesto A de ensayo conectado mediante un equipo rectificador-regulador a una bancada de baterías de 48 V y $C_{10}=826$ Ah. El consumo para evitar que las baterías alcancen un nivel indeseado se consigue mediante cargas DC, y mediante un inversor conectado a red capaz de vender a red el excedente.

Esta instalación está formada por:

- Torre anemométrica con anemómetro y veleta (Torre B)
- Aerogenerador montado en la torre Bornay de 15 m
- Regulador-rectificador del Aerogenerador Bornay Inclín neo 3000 + resistencia de volcado (0.38Ω).
- Banco de baterías: 24 elementos de capacidad $C_{10}=826$ Ah (48V).
- Inversor monofásico Xantrex (4500W).

Las condiciones de viento en el emplazamiento de la planta de ensayos para un año típico, se sitúan entorno a los 5 m/s, con dirección predominante en el sector W-WNW.

2.1. SITUACIÓN DEL CEDER-CIEMAT

El Centro de Desarrollo de Energías Renovables CEDER-CIEMAT está situado en Luvia, una pequeña localidad a unos 20 km. al sur de Soria.

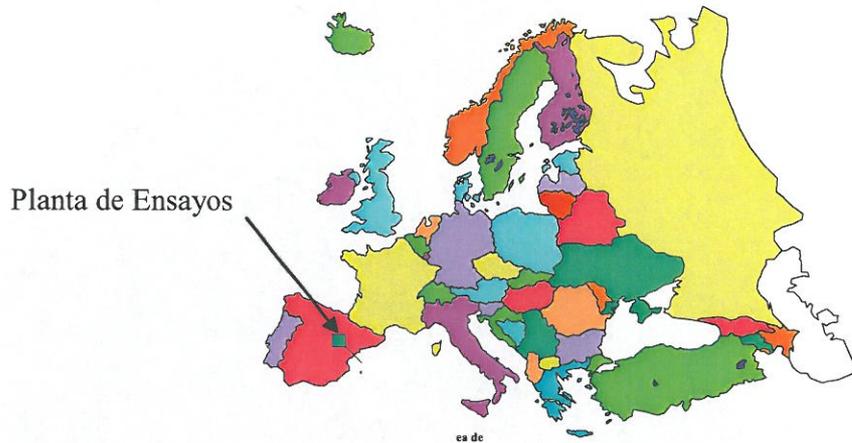


Figura 4. Situación del CEDER, sobre el mapa de Europa



Figura 5. Situación del CEDER, sobre el mapa de Soria

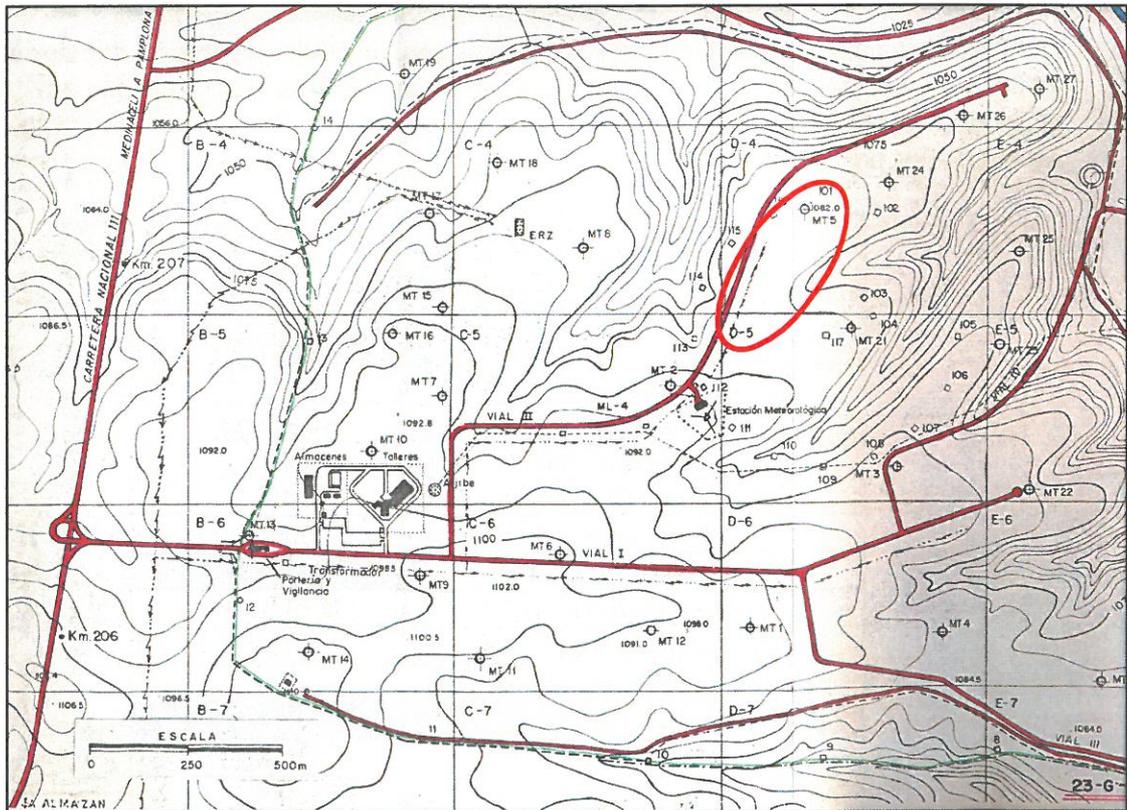


Figura 6. Mapa de la Planta de Ensayos

3. DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR BORNAY INCLIN NEO 3000

El aerogenerador Bornay Inclín neo 3000, es un aerogenerador bipala de 3.7 m de diámetro y 3000 vatios de potencia nominal, diseñado para carga de baterías o conexión a red. En la tabla adjunta se resumen las características técnicas del mismo, de acuerdo con los datos suministrados por el fabricante:

DATOS TÉCNICOS	Inclín 3000
Nº de palas	2
Diámetro (m.)	3,7
SISTEMA ELÉCTRICO	
Tipo	
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	3000
Voltaje (V_{DC})	48
Regulador	Digital
FUNCIONAMIENTO	
Para arranque (m/s)	3,5
Para potencia nominal (m/s)	12
Para frenado automático (m/s)	14
Peso neto	125 Kg
Peso bruto	150 Kg

Tabla I. Características del aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000

El aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000 objeto del ensayo descrito en este documento se conecta a un sistema de acumulación con objeto de reproducir lo más fielmente posible un sistema real, en el que lo normal es que aparezca un sistema de acumulación para almacenar la energía producida, que además tiene un efecto de estabilizar el voltaje de salida del generador de imanes permanentes. El voltaje de salida del generador puede variar entre valores muy diferentes en función de la velocidad de giro, de a veces varios cientos de voltios. Puesto que la caracterización de la máquina depende de la tensión de salida, la utilización de baterías estacionarias como sistema de acumulación limita el rango de voltaje de carga de baterías. Se ha incorporado un sistema de regulación de voltaje a la salida para permitir variaciones de voltaje pequeñas. Por contra, en un sistema real aparecen siempre cargas, ya sean CC ó AC. En este ensayo de caracterización del aerogenerador no interesa tanto la simulación de cargas como mantener un voltaje fijo (con un pequeño margen de variación). Por ello, las cargas variables disponibles en la Planta para simulación del consumo no han sido utilizadas en este ensayo, y en su lugar se dispone de un dispositivo de regulación de voltaje.

El sistema de acumulación utilizado en el ensayo, es una bancada de 24 elementos tipo 5EAN100 de marca TUDOR. El voltaje nominal de cada elemento es de $2 V_{DC}$, con lo que al disponer de 24 elementos en serie se consiguen los 48 V_{DC} nominales. La capacidad de la bancada de baterías es $C_{10}=826$ Ah, por lo que la relación de capacidad frente a la intensidad nominal del aerogenerador, es de 13.2 horas.



Figura 7. Sala de baterías de la Planta de ensayos CEDER

Puesto que la caracterización del generador depende de la tensión de salida, es necesario incluir un sistema de estabilización del voltaje de salida: la utilización del sistema de acumulación (descrito en el apartado anterior) es un primer paso para la estabilización, ya que limita la variación del voltaje de salida del aerogenerador al margen de voltaje de funcionamiento de la batería estacionaria, que es mucho menor. No obstante, este margen para la batería es todavía demasiado amplio para la caracterización del aerogenerador, por lo que se ha incluido un segundo escalón de estabilización. Para ello se ha utilizado un equipo inversor/cargador marca XANTREX SW4548E, con las siguientes características:

Especificaciones eléctricas	
Voltaje de entrada de CA	230 VCA
Rango de voltaje de entrada de CA	150-288 VCA
Entrada de corriente alterna	de 30 amperios CA de peso a 15 amperios de CA de carga
Potencia continua a 25°C	4500 VA
Rendimiento (óptimo)	96 %
Voltaje de salida (RMS)	230 VCA
Regulación de voltaje de salida	+/- 5%
Frecuencia (\pm 0.04% estabilizado por cristal)	50 Hz
Salida continua a 25°C	19 amperios CA
100 mseg. capacidad de sobrecarga	38 amperios CA
Distorsión armónica de voltaje total	< 5%
Relé de transferencia automática	30 amperios
Voltaje de entrada de CC (nominal)	48 VCC
Rango de voltaje de entrada de CC	44-66 VCC
Corriente continua a la potencia especificada	120 amperios CC
Corriente de cortocircuito	180 amperios CC
Consumo normal en estado inactivo	< 20 vatios
Consumo en modo de búsqueda	< 1 vatio
Protección de batería baja (activada)	Permite seleccionar el nivel de batería por debajo del cual se desconectará el dispositivo (Todos los modelos)
Nivel de carga continua máx.	60 amperios CC
Forma de la onda	Onda sinusoidal, de 34 a 52 escalones por ciclo
Detección de carga (modo inversor)	Ajustable de 0 a más de 200 vatios (valor predeterminado: 45 vatios)
Especificaciones generales	
Rango de temperatura especificado	32°F a 77°F (0°C a 25°C)
Tipo de caja	Para uso en interiores, ventilado, chasis de acero con acabado con revestimiento pulverizado
Peso de la unidad	63 kg (136 lb)
Peso del envío	65 kg (143 lb)
Dimensiones (Al x An x F)	38 x 57 x 23 cm (15 x 22,5 x 9")
Dimensiones del envío (Al x An x F)	52 x 69 x 40 cm (20 x 27 x 15")
Montaje	Montaje en pared
Garantía	2 años
Número de referencia	SW4548E

Tabla II Características XANTREX SW4548E

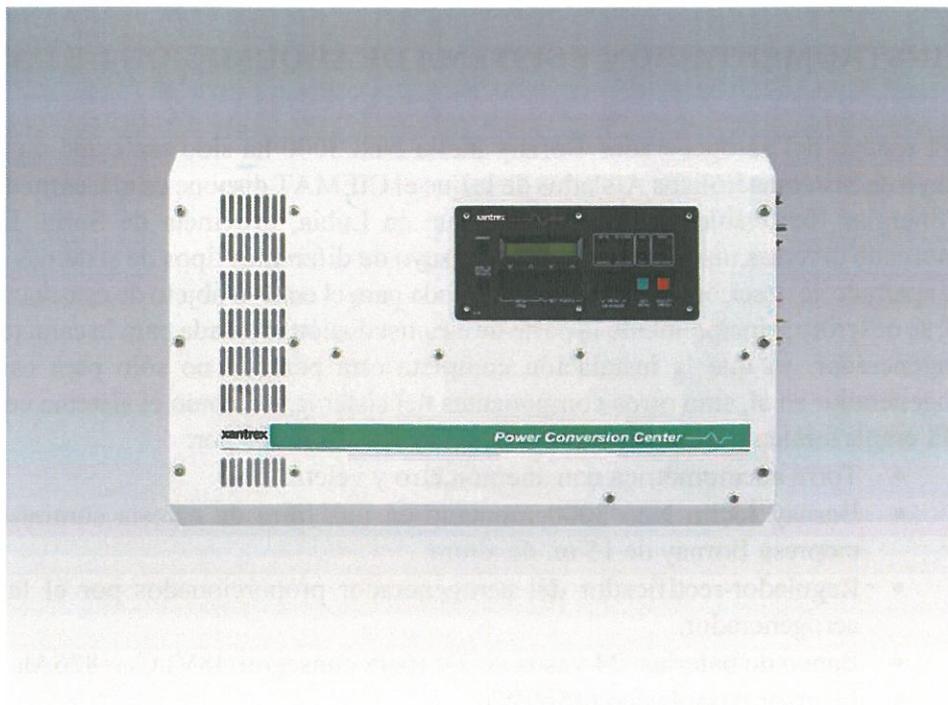


Figura 8. Inversor XANTREX SW4548E

Planta de Ensayo de Pequeños Aerogeneradores (PEPA)	INFORME DE ENSAYO DE CURVA DE POTENCIA Aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000	Revisión: 1 PAGINA 14 de 50
---	---	--------------------------------

4. INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El ensayo del aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000 ha sido realizado en la Planta de Ensayo de Sistemas Eólicos Aislados de la que el CIEMAT dispone en el Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER) existente en Lubia, provincia de Soria. Dicha planta comprende diversas instalaciones para el ensayo de diferentes tipos de sistemas aislados. En este apartado se describe la instalación utilizada para el ensayo objeto de este documento. Más aún, se describe principalmente la parte de esa instalación utilizada para la caracterización del aerogenerador, ya que la instalación completa está pensada no sólo para caracterizar el aerogenerador en sí, sino otros componentes del sistema, así como el sistema completo.

El emplazamiento utilizado es el puesto C y está formado por:

- Torre anemométrica con anemómetro y veleta.
- Bornay Inclín Neo 3000 montado en una torre de celosía suministrada por la empresa Bornay de 15 m. de altura.
- Regulador-rectificador del aerogenerador proporcionados por el fabricante del aerogenerador.
- Banco de baterías: 24 vasos de 2V (para conseguir 48V) $C_{10}=826\text{Ah}$.
- Inversor monofásico (4500W).

En los apartados correspondientes ya se han descrito el aerogenerador, el sistema de acumulación (baterías) y el sistema de regulación (rectificador-regulador).

Se describen a continuación las medidas que han sido utilizadas en el estudio que se presenta. Para ello, se detallan los sensores y convertidores de medida utilizados, así como el procedimiento de obtención y almacenamiento de los datos.

En la torre anemométrica se realizan las siguientes medidas:

4.1. MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE VIENTO.

La velocidad de viento se mide con un anemómetro de cazoletas instalado en una torre meteorológica situada a una distancia de 15 m de la torre del aerogenerador en la dirección preferente de viento, de forma que capta la corriente de viento (sin perturbar) que incide sobre el rotor del aerogenerador.

Para ello se utiliza un anemómetro de cazoletas calibrado. El anemómetro de cazoletas va montado sobre un soporte de separación de 1.4 m de longitud y \varnothing 45mm., en el extremo superior de la torre meteorológica, a la altura del buje del aerogenerador (\approx 13 m).

Prescripciones técnicas: Anemómetro de cazoletas SV5 (SEAC)

Rango:	0 – 65 m/s
Precisión:	$\pm 2\%$ de 0 a 50 m/s
Resolución:	0.05 m/s
Alimentación:	8 V_{cc}
Salida:	0..1000Hz (pulsos)

En el anexo I se incluyen las hojas de calibración del sensor de viento.

4.2. MEDIDA DE LA DIRECCIÓN DE VIENTO.

La medida de dirección de viento se hace con una veleta, que está montada sobre la torre meteorológica a una altura de 1.5 metros debajo del plano de las cazoletas del anemómetro, en una cruceta de 1m de largo.

Prescripciones técnicas: Veleta SD5-8: (SEAC)

Rango:	0°- 360°
Resolución:	1.41°
Alimentación:	8 V _{cc}
Salida:	código GRAY NEGADO

4.3. MEDIDA DE LA DENSIDAD DEL AIRE.

La densidad del aire no se mide directamente, siendo una variable derivada, calculada a partir de las medidas de presión atmosférica y temperatura ambiente. Las medidas de presión y temperatura utilizadas son las obtenidas en la torre meteorológica del emplazamiento A, situada a 30 m de la torre anemométrica que alberga los sensores de velocidad y dirección de viento utilizados en el ensayo que se describe en este documento.

Existe, por supuesto, una explicación para este aparente laberinto: tanto velocidad como dirección de viento son magnitudes que varían de forma notable en función del tiempo y del espacio (incluso en espacios relativamente pequeños, como los 30 m de distancia que separa las dos torres anemométricas). Por ello, es necesario realizar la medida de estas dos variables – velocidad y dirección de viento- para cada aerogenerador que se ensaya, en la dirección preferente del viento. Por contra, temperatura ambiente y presión atmosférica son magnitudes que no varían de forma notable en el espacio (por lo menos en distancias como las que estamos tratando, en el entorno de los 30m). Por ello, no es necesario realizar una medida para cada aerogenerador, siendo totalmente válido realizar una única medida para la Planta de ensayo. Se procede a continuación a la descripción de los sensores utilizados para la medida de la temperatura ambiente y de la presión atmosférica.

La sonda de medida de la temperatura ambiente utilizada se encuentra situada dentro de un protector solar que proporciona las condiciones de sombra y refrigeración necesarias para la medida de la temperatura ambiente. Éstas son las características del sensor:

Prescripciones técnicas: Sonda de temperatura y humedad EWHS 31, (SEAC).

Sonda de temperatura:

Rango:	-10°C...+45°C
Precisión:	±0.3°C
Alimentación:	9 a 18 V _{cc}
Salida:	4.-.20mA

Planta de Ensayo de Pequeños Aerogeneradores (PEPA)	INFORME DE ENSAYO DE CURVA DE POTENCIA Aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000	Revisión: 1 PAGINA 16 de 50
--	--	--------------------------------

La señal de estos dos sensores es llevada al cuadro de conexión existente a pie de torre, donde se convierten a bucle de corriente para ser transmitidas hasta el Sistema de Adquisición de Datos (SAD) situado en la caseta.

4.4. MEDIDA DE LA POTENCIA GENERADA POR EL AEROGENERADOR.

La potencia generada se calcula como el producto de la medida de la intensidad a la salida del aerogenerador por la medida de la tensión en el mismo punto, a la salida del aerogenerador. Más precisamente, ambas medidas se realizan a la salida del equipo rectificador-regulador, ya en continua.

La medida de la tensión se efectúa con un convertidor de tensión marca SACI, conectado en paralelo a la salida del rectificador-regulador:

- Modelo: ATUca
- Precisión: 0.5 %
- Entrada: 0-60 V
- Salida: 4-20 mA
- Alimentación: 24 V

Para la medida de la intensidad se utiliza un shunt de corriente (resistencia calibrada) continua marca SACI, conectado en serie con la salida del rectificador-regulador, para obtener una medida en tensión a partir de la intensidad. Las características del shunt son:

- Rango de intensidad (entrada): 0..60 A
- Rango de voltaje (salida): 0..150 mV
- Precisión: 0.5 %

Una vez que se ha conseguido un valor en voltaje a partir de la intensidad mediante el shunt, se dispone de un convertidor de tensión marca SACI, conectado en paralelo con el shunt. Éstas son las características de este convertidor:

- Modelo: ATUca
- Precisión: 0.5 %
- Entrada: 0-150 mV
- Salida: 4-20 mA
- Alimentación: 24 V

El montaje del sistema de medición es el representado en la figura (figura 2).

Se comprobó la trazabilidad de la cadena de medida para cada una de las variables medidas dentro del ensayo, mediante la utilización de una fuente de intensidad calibrada, comprobándose la concordancia con los valores medidos.

Aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000

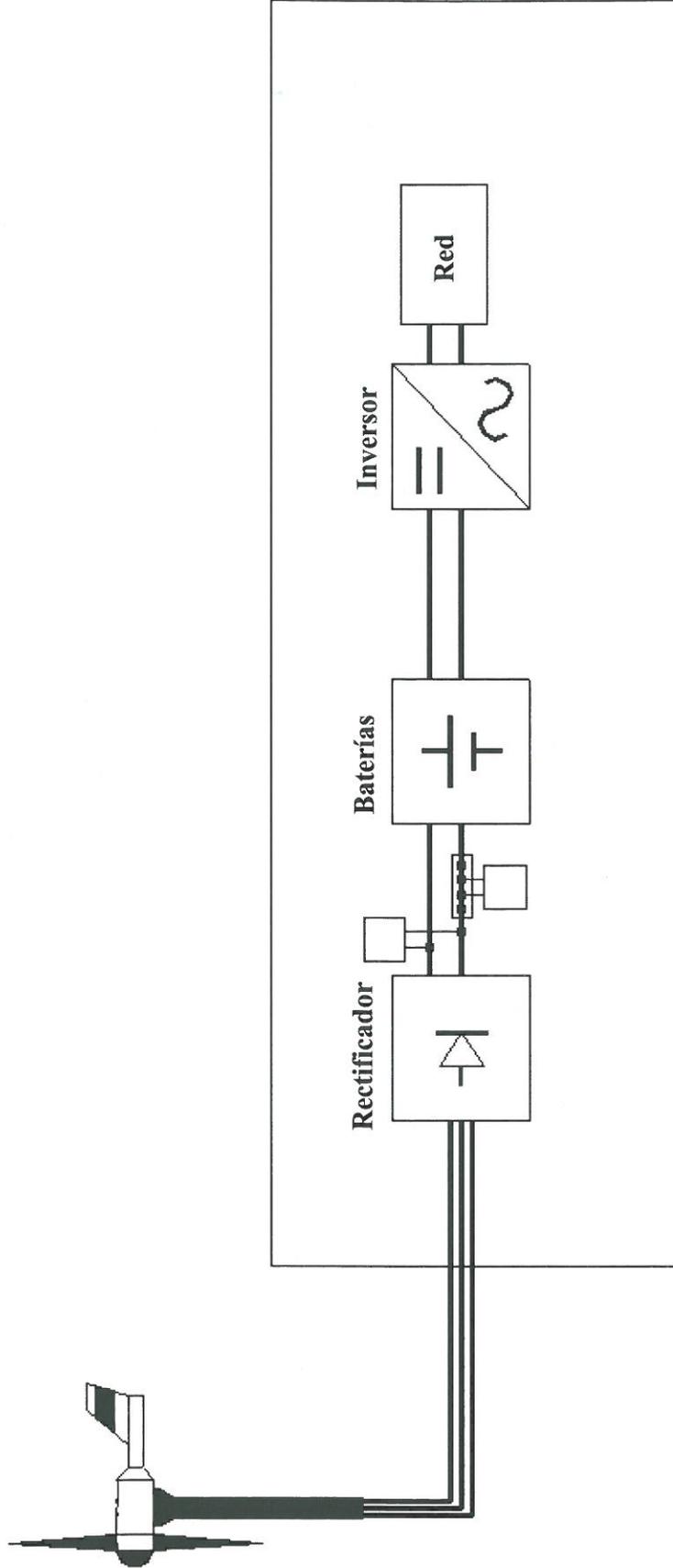


Figura 9. Sistema de medidas del puesto A de ensayos

Para los ensayos se ha seguido el procedimiento descrito en el anexo H "Power Performance Testing of Small Wind Turbines" del borrador del estándar IEC 61400-121 Ed. 1: "Power Performance Measurements of Grid Connected Wind Turbines". El procedimiento definido se basa en la utilización de un sistema de regulación del voltaje de las baterías, que permita mantener el mismo dentro de unos límites estrechos, para poder realizar ensayos de caracterización equivalentes a funcionamiento a diferentes estados de cargas de las baterías. El aerogenerador se ensayará a tres voltajes diferentes de carga, que corresponden con los estados de plena carga de las baterías, media carga y baterías descargadas, y vienen referenciados por el 112 %, el 106 % y el 96 % de los voltajes nominales. En el caso de nuestro ensayo, estos valores corresponderían con los voltajes siguientes:

- Alta tensión, a $53.76 \text{ V} \pm 2.5\%$ (entre 52.416 V y 55.104 V)
- Baja tensión, a $46.08 \text{ V} \pm 2.5\%$ (entre 44.928 V y 47.232 V)
- Media tensión, a $50.88 \text{ V} \pm 2.5\%$ (entre 49.608 V y 52.152 V)

El regulador del sistema se encarga de mantener los niveles de voltaje dentro de los valores especificados para cada uno de los estados de carga.

5. DATOS DISPONIBLES.

El análisis se basa en datos de funcionamiento del aerogenerador registrados en el periodo comprendido entre el 10 de Abril de 2008 y 9 de Julio de 2008. El aerogenerador estuvo funcionando de forma continuada durante el periodo de ensayo.

En este caso sólo se ha podido realizar el ensayo para el intervalo a media tensión de las baterías y se han monitorizado unas 2200 horas, que corresponden a unas 1800 horas de funcionamiento del aerogenerador. Descartados los datos erróneos (principalmente debido a fallos en la medida de algunas de las variables debido al mal funcionamiento de una de las tarjetas del sistema de toma de datos), se dispuso de 12969 periodos de 1 minuto para la elaboración de la curva de potencia del aerogenerador.

De los datos estadísticos de los periodos de 1 minuto, se seleccionaron los datos correspondientes a las direcciones en las que no existe perturbación ni en el aerogenerador, ni en la torre meteorológica, debido a la interferencia con el otro aerogenerador situado en su proximidad, con la caseta del centro de control o con la torre del transformador. Concretamente se utilizaron los datos correspondientes a las direcciones de vientos situados entre 170° (Sur) y 245° (NW). En el gráfico siguiente se presentan los datos utilizados para la obtención de la curva de potencia a media tensión de baterías.

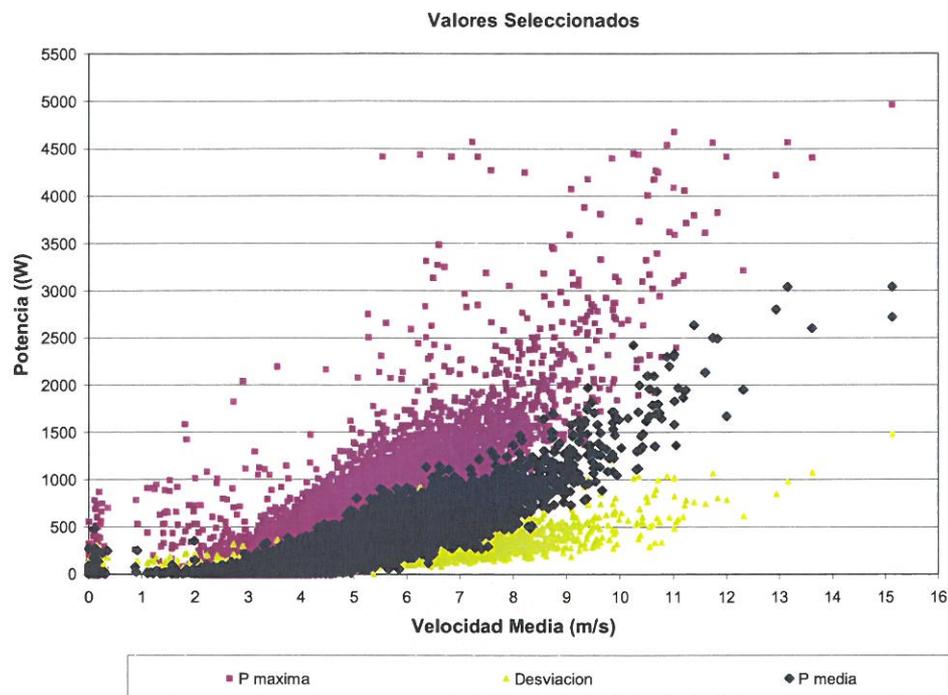


Figura 10. Datos seleccionados

	Velocidad(m/s)	Veloc. Max (m/s)	Potencia (W)	Potencia Max (W)	Densidad (kg/m ³)	Tensión Batería (V)
Media	4.61	6.39	234.22	542.03	1.09	50.50
Max	15.13	22.90	3037.60	4958.90	1.15	51.61
Min	0.00	0.00	0.01	8.20	1.03	50.33

Tabla III. Datos seleccionados

Los datos seleccionados varían entre velocidades medias de viento de 0 a 15.13 m/s. Durante el periodo de medida se han registrado velocidades instantáneas superiores a los 22. m/s. En lo referente a la potencia (potencia media en el periodo de 1 minuto) el valor máximo registrado de potencia media es de 3037.6 W a una velocidad de 13.155 m/s. El valor de potencia instantánea

alcanza un máximo de 4958.9 W, que se corresponden con las ráfagas citadas de altas velocidades de viento.

6. ANÁLISIS DE LAS ACTUACIONES DEL AEROGENERADOR

Se presentan los resultados obtenidos mediante el procesado de los datos medidos. En primer lugar se presenta la curva de potencia medida aplicable para una densidad de viento específica, y para las condiciones de regulación del voltaje fijadas en el ensayo. Posteriormente se analizan los resultados de la curva de potencia normalizada a condiciones estándar de presión y temperatura.

6.1. CURVA DE POTENCIA MEDIDA

Se ha obtenido la curva de potencia siguiendo el proceso del Método de los Intervalos descrito en el estándar IEC 61400-121 considerándose intervalos de 0.5 m/s de anchura.

No se ha realizado corrección de los datos debido a las condiciones atmosféricas, pues para el rango de datos utilizado la densidad del aire varía entre 1.03 kg/m³ y 1.15 kg/m³. La curva obtenida será válida para una densidad del aire de 1.09 ± 0.05 kg/m³.

La curva obtenida corresponde por tanto a unas condiciones específicas del ensayo, que en nuestro caso se resumen en los siguientes valores:

Densidad del aire entre 1.03 y 1.15 kg/m³.

Voltaje de conexión a baterías entre 50.33 V y 51.61 V

En la tabla adjunta se presentan los resultados obtenidos. Para velocidades de viento superiores a 13.5 m/s, no se cumple el requisito de un número mínimo de 10 datos en el intervalo considerado. No obstante se han incluido los datos en la tabla solamente a efectos de ampliar la información disponible.

Se ha realizado un análisis de incertidumbres según la metodología descrita en el estándar de ensayo, incluyéndose los resultados en la tabla. En el anexo II se presenta información detallada sobre el análisis de incertidumbre realizado, junto con los resultados obtenidos.

Curva de Potencia Medida			
Ref. VoltajeBateria 50.88V			
N bin	Nº Registros	Velocidad Media (m/s)	Potencia (W)
1	25	1.4944	18.905
2	67	2.0698	22.851
3	392	2.5589	20.524
4	1216	3.0339	31.647
5	2194	3.509	55.578
6	2158	3.9912	103.25
7	1783	4.4842	176.39
8	1390	4.9882	258.89
9	1159	5.4848	343.87
10	824	5.9862	434.87
11	644	6.4906	539.09
12	388	6.9808	617.41
13	260	7.4903	722.51
14	161	7.9804	844.94
15	91	8.4921	976.75
16	52	8.9977	1119.6
17	34	9.4695	1312.7
18	16	9.9038	1433
19	21	10.499	1665.4
20	12	11.037	1938
21	3	11.579	2421.8
22	2	11.914	2079.3
23	1	12.321	1949.7
24	2	13.041	2919.1

Tabla IV. Curva de Potencia Medida

6.2. CURVA DE POTENCIA NORMALIZADA A CONDICIONES ESTÁNDAR

A pesar de no existir una metodología contrastada para la normalización de datos a condiciones atmosféricas estándar, se ha generado la curva de potencia normalizada según el procedimiento descrito en el citado anexo H, cuyos resultados se presentan en el apartado siguiente.

En el citado documento se especifica que para pequeños aerogeneradores con sistema de control pasivo como el del Bornay 3000, se obtendrá la Curva de Potencia normalizando los datos mediante la realización de un ajuste de la velocidad de viento, o un ajuste de la potencia de acuerdo con las ecuaciones presentadas. No se especifica cuando se ha de utilizar cada uno de los ajustes especificados, como se hace para el caso de grandes aerogeneradores conectados a red.

Este procedimiento de normalización de datos no está verificado para los pequeños aerogeneradores no conectados a red y por ello carece de validez para su aplicación. No obstante se ha realizado el procedimiento utilizando la corrección de la velocidad de viento.

Curva de Potencia Medida					
Ref. Voltaje de Batería 50.88 V			Ref. Densidad del Aire 1.225 kg/m ³		
Nº bin	Nº Registros	Velocidad Media (m/s)	Potencia (W)	Incertidumbre combinada (W)	Incertidumbre expandida 95% nc (W)
1	27	1.48	-	-	-
2	88	2.06	-	-	-
3	536	2.55	24.22	6.51	12.75
4	1574	3.03	41.77	5.23	10.25
5	2401	3.50	73.70	21.43	42.00
6	2128	4.00	142.70	26.66	52.25
7	1676	4.49	234.52	32.89	64.47
8	1341	5.00	330.59	41.25	80.86
9	1033	5.48	438.27	46.54	91.22
10	770	5.99	543.90	48.86	95.76
11	515	6.48	663.73	55.60	108.97
12	308	6.98	757.00	48.90	95.84
13	209	7.46	897.60	47.11	92.34
14	115	7.96	1025.80	42.12	82.56
15	66	8.47	1213.50	29.41	57.65
16	46	8.98	1448.30	141.37	277.08
17	20	9.47	1578.60	35.51	69.60
18	19	10.06	1859.50	112.41	220.32
19	12	10.51	2189.60	83.20	163.08
20	4	10.91	2412.70	246.89	483.90
21	3	11.37	2226.10	264.02	517.48
22	1	11.85	1943.00	161.47	316.49
23	2	12.53	3290.50	249.56	489.13
24	1	13.08	2927.00	698.14	1368.35

Tabla V. Curva de Potencia Normalizada

En la gráfica adjunta se representan los valores obtenidos para la curva de potencia normalizada a condiciones estándar de presión atmosférica y temperatura.

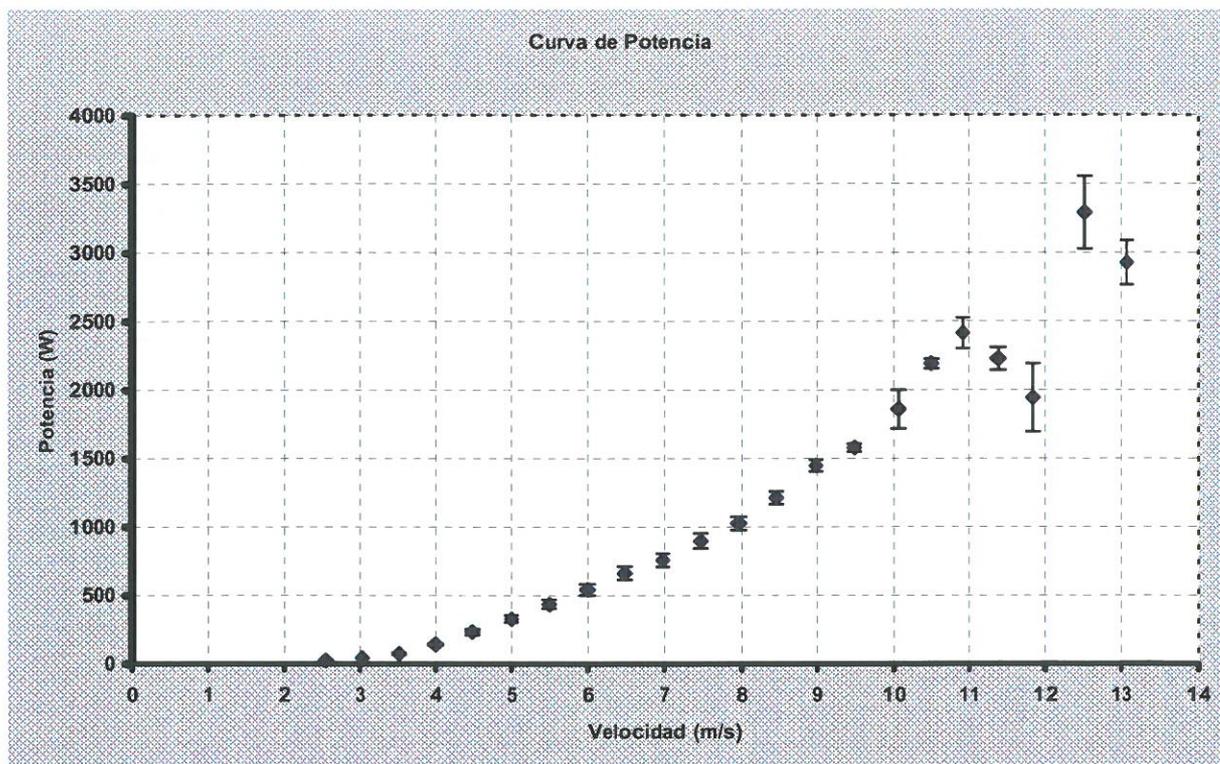


Figura 9. Curva de Potencia Normalizada

6.3. 6.3 CURVA DE POTENCIA NORMALIZADA A DENSIDAD LOCAL

A pesar de no existir una metodología contrastada para la normalización de datos a condiciones atmosféricas estándar, se ha generado la curva de potencia normalizada según el procedimiento descrito en el citado anexo H, cuyos resultados se presentan en el apartado siguiente.

En el citado documento se especifica que para pequeños aerogeneradores con sistema de control pasivo como el del Bornay 3000, se obtendrá la Curva de Potencia normalizando los datos mediante la realización de un ajuste de la velocidad de viento, o un ajuste de la potencia de acuerdo con las ecuaciones presentadas. No se especifica cuando se ha de utilizar cada uno de los ajustes especificados, como se hace para el caso de grandes aerogeneradores conectados a red. Este procedimiento de normalización de datos no está verificado para los pequeños

aerogeneradores no conectados a red y por ello carece de validez para su aplicación. No obstante se ha realizado el procedimiento utilizando la corrección de la velocidad de viento.

El valor de densidad del sitio durante el ensayo ha sido de 1.0858 kg/m^3

Curva de Potencia Medida					
Ref. Voltaje de Batería 50.88 V			Ref. Densidad del Aire 1.0858 kg/m^3		
Nº bin	Nº Registros	Velocidad Media (m/s)	Potencia (W)	Incertidumbre combinada (W)	Incertidumbre expandida 95% nc (W)
1	25	1.50	17.42	34.78	68.16
2	68	2.08	22.76	15.64	30.65
3	379	2.56	20.18	6.53	12.80
4	1225	3.03	30.81	2.44	4.78
5	2192	3.51	54.96	20.74	40.64
6	2152	3.99	103.15	26.71	52.34
7	1802	4.48	176.70	32.96	64.61
8	1373	4.99	259.05	41.35	81.04
9	1170	5.48	343.34	46.62	91.37
10	823	5.98	435.70	48.89	95.83
11	643	6.49	541.01	55.60	108.98
12	388	6.98	616.56	48.81	95.66
13	258	7.49	723.07	46.99	92.10
14	159	7.97	837.89	42.02	82.36
15	95	8.49	970.10	29.47	57.77
16	52	9.00	1124.00	141.64	277.61
17	34	9.47	1303.20	36.51	71.55
18	17	9.92	1493.10	112.14	219.79
19	20	10.51	1628.60	79.52	155.87
20	12	11.02	1946.00	248.34	486.74
21	3	11.58	2420.60	254.65	499.11
22	2	11.89	2090.40	162.86	319.21
23	1	12.34	1943.00	263.82	517.09
24	2	13.05	2916.50	632.79	1240.26

Tabla V. Curva de Potencia Normalizada ($\rho = 1.0858 \text{ kg/m}^3$)

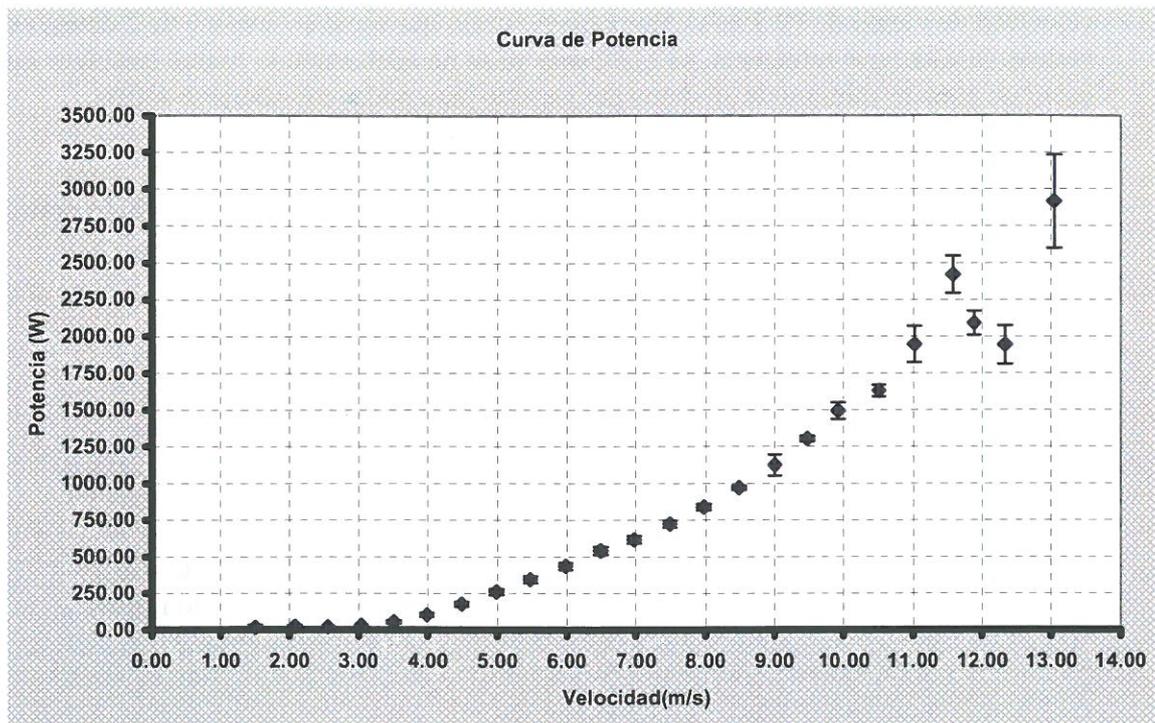


Figura 9. Curva de Potencia Normalizada ($\rho = 1.0858 \text{ kg/m}^3$)

6.4. ANÁLISIS DE LA CURVA DE POTENCIA.

De los datos de la Curva de Potencia Normalizada, obtenida para la tensión de baterías especificada, se disponen de valores con suficiente número de datos medidos para velocidades de viento hasta 11 m/s. No se han medido datos suficientes para velocidades superiores de viento, por no haberse presentado en el periodo considerado cumpliendo las condiciones de filtrado (de hecho se midieron datos en intervalos superiores, pero con el viento soplando en dirección en la que se aprecia viento perturbado sobre el aerogenerador). De acuerdo con el punto 14 del anexo H citado, no se puede considerar completa la base de datos, pues cada intervalo debe contener un mínimo de 10 datos de 1 minuto.

Por consiguiente se pueden definir los siguientes valores:

- Velocidad de Conexión: 2.0 m/s
- Velocidad de Corte: Sin Corte
- Velocidad Nominal: 12.5 m/s
- Potencia Nominal: 3290.5 W

La potencia máxima obtenida en la curva de potencia normalizada es de 3290.5 W, a una

velocidad de viento de 12.5 m/s. Ahora bien, puesto que solo se dispone de 2 datos, este dato no debe considerarse referencia, ya que como ya se ha adelantado la norma establece que debe haber un número mínimo de 10 datos por periodo para poder considerarse válido.

Coefficiente de Potencia

Partiendo de los datos de medias de 1 minuto, calculamos el coeficiente de potencia del aerogenerador como la relación:

$$C_{p,i} = \frac{P_i}{1/2 \rho A V_i^3}$$

Siendo:

P_i = Potencia media en el intervalo i (W)

ρ = Densidad del aire (kg/m^3)

A = Área barrida del rotor del aerogenerador del rotor (m^2)

V^3 = Media de la velocidad de viento en el intervalo i (m/s)

En la siguiente tabla se ha incluido el valor del C_p , en la última columna siguiendo el formato de la tabla V.

Curva de Potencia Medida						
		Ref. Voltaje de Batería 50.88 V		Ref. Densidad del Aire 1.225 kg/m ³		
Nº bin	Nº Registros	Velocidad Media (m/s)	Potencia (W)	Incertidumbre combinada (W)	Incertidumbre expandida 95% nc (W)	C_p
1	27	1.4769	-	-	-	-
2	88	2.0616	-	-	-	-
3	536	2.5504	24.217	6.51	12.75	0.2217
4	1574	3.0299	41.769	5.23	10.25	0.2280
5	2401	3.5041	73.7	21.43	42.00	0.2601
6	2128	3.9956	142.7	26.66	52.25	0.3397
7	1676	4.4886	234.52	32.89	64.47	0.3938
8	1341	4.9973	330.59	41.25	80.86	0.4022
9	1033	5.4832	438.27	46.54	91.22	0.4037
10	770	5.9906	543.9	48.86	95.76	0.3842
11	515	6.4824	663.73	55.60	108.97	0.3700
12	308	6.9763	757	48.90	95.84	0.3385
13	209	7.4638	897.6	47.11	92.34	0.3278
14	115	7.9641	1025.8	42.12	82.56	0.3084
15	66	8.4672	1213.5	29.41	57.65	0.3035
16	46	8.9779	1448.3	141.37	277.08	0.3039
17	20	9.4721	1578.6	35.51	69.60	0.2821
18	19	10.058	1859.5	112.41	220.32	0.2775
19	12	10.506	2189.6	83.20	163.08	0.2867
20	4	10.908	2412.7	246.89	483.90	0.2823
21	3	11.372	2226.1	264.02	517.48	0.2298
22	1	11.849	1943	161.47	316.49	0.1773
23	2	12.531	3290.5	249.56	489.13	0.2539
24	1	13.081	2927	698.14	1368.35	0.1986

Tabla VI. Coeficiente de Potencia

En la gráfica siguiente se presenta la curva obtenida de eficiencia del aerogenerador.

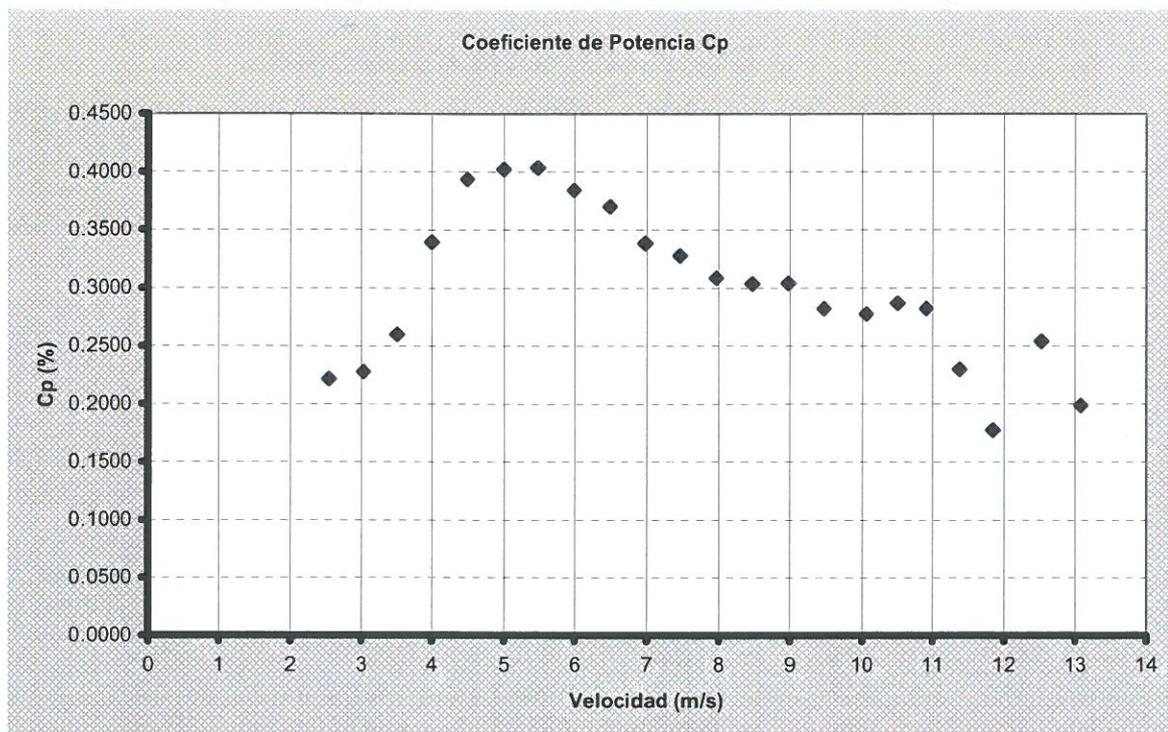


Figura 10. Coeficiente de Potencia

Del análisis del Coeficiente de Potencia del aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000, obtenido para la tensión de baterías y para la densidad del aire especificadas, se derivan las siguientes conclusiones:

- El aerogenerador obtiene su punto de eficiencia máximo a 5.5 m/s, es decir a baja velocidad de viento. Esto es indicador de un buen criterio de diseño. En el caso de aerogeneradores para su utilización en parques eólicos conectados a red, se elige un punto de diseño óptimo a velocidades de viento más altas, puesto que en general las velocidades medias en este tipo de instalaciones son superiores a las existentes en instalaciones aisladas (en este caso se busca el emplazamiento óptimo para la planta eólica, mientras que en las instalaciones aisladas el emplazamiento queda fijado por el lugar donde se encuentra la aplicación)

- El valor máximo de eficiencia es 0.40, lo cual resulta razonable comparado con la eficiencia máxima que se alcanza en aerogeneradores conectados a red (gran tamaño), en los que se llega a valores cercanos al 0.50, pero es un valor muy aceptable para un aerogenerador de pequeño tamaño. En los trabajos en realización en la planta de ensayos, se obtendrán valores de la eficiencia de los diferentes subsistemas (eficiencia aerodinámica del sistema de captación, y eficiencia del generador eléctrico y del rectificador), que permitirán definir las estrategias a seguir

para incrementar la eficiencia total del aerogenerador. En cualquier caso, la eficiencia de los pequeños aerogeneradores es sensiblemente inferior a la de las grandes máquinas.

- Los valores del coeficiente de potencia para los valores altos de viento no son representativos debido a que no hay suficientes datos para poderlos considerar como válidos, si bien se ve una forma de la curva que se intuye bastante buena y razonable.

6.5. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ANUAL A CONDICIONES ESTÁNDAR.

Se ha calculado la energía anual que produciría (EAP) el aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000, en un emplazamiento con condiciones atmosféricas estándar y para varias velocidades de viento.

Velocidad media de viento (m/s)	EAP (kWh/año)	Incertidumbre combinada (kWh/año)	Incertidumbre combinada (%)	Incertidumbre Extendida 95 % nc (kWh/año)	Incertidumbre Extendida 95 % nc (%)	EAP Extrapolada (kWh/año)	Ratio real/extrap (%)	In
4	2338	249	10.64	487	20.85	2344	99.75	
5	4056	355	8.75	696	17.15	4175	97.16	
6	5692	475	8.34	931	16.35	6305	90.27	
7	6852	576	8.41	1129	16.48	8502	80.59	
8	7449	639	8.58	1253	16.82	10578	70.43	
9	7590	665	8.76	1303	17.17	12410	61.16	
10	7425	662	8.91	1297	17.47	13924	53.33	
11	7082	640	9.04	1254	17.71	15083	46.95	

Tabla VII. Energía Anual Producida

Para el cálculo se ha utilizado una distribución de frecuencias de acuerdo con la distribución teórica de Rayleigh. Se ha calculado la energía total suministrada por el aerogenerador suponiendo una disponibilidad del 100 %. La energía calculada es la energía total producida por el aerogenerador. Cuando se evalúe la energía aprovechable de un sistema aislado, habrá que descontar la energía disipada en las resistencias de volcado en aquellas situaciones en que las baterías se encuentren a plena carga y la potencia producida sea superior a la consumida.

El cálculo de la EAP “extrapolada” se ha realizado según se especifica en el punto 5.3 del estándar IEC 61400-121 Ed. 1, para valor de corte del aerogenerador de 25 m/s, si bien en la realidad el aerogenerador no tiene velocidad de corte (es decir no deja de generar por alto viento).

La curva de potencia extrapolada de acuerdo con el estándar mantiene la potencia constante desde el último intervalo de viento medido hasta la velocidad de corte, lo cual no es coherente con la estrategia de funcionamiento del aerogenerador objeto de ensayo, que a partir de una velocidad de viento realiza una regulación de potencia con valores muy por debajo del valor de potencia nominal. Por ello los valores obtenidos no son representativos del funcionamiento real del mismo. El cálculo se ha incluido solamente a efectos informativos y para ratificar la inconsistencia del

estándar cuando se aplica a pequeños aerogeneradores no conectados a la red.

De acuerdo con la norma, se ha de considerar “incompleto” el cálculo de energía para la curva medida para valores de viento superiores a 6 m/s, pues la energía calculada para la curva normalizada no alcanza al 95 % de la energía calculada con la curva extrapolada.

Se constata la inconsistencia de los resultados obtenidos mediante la extrapolación de la curva para valores altos de viento.

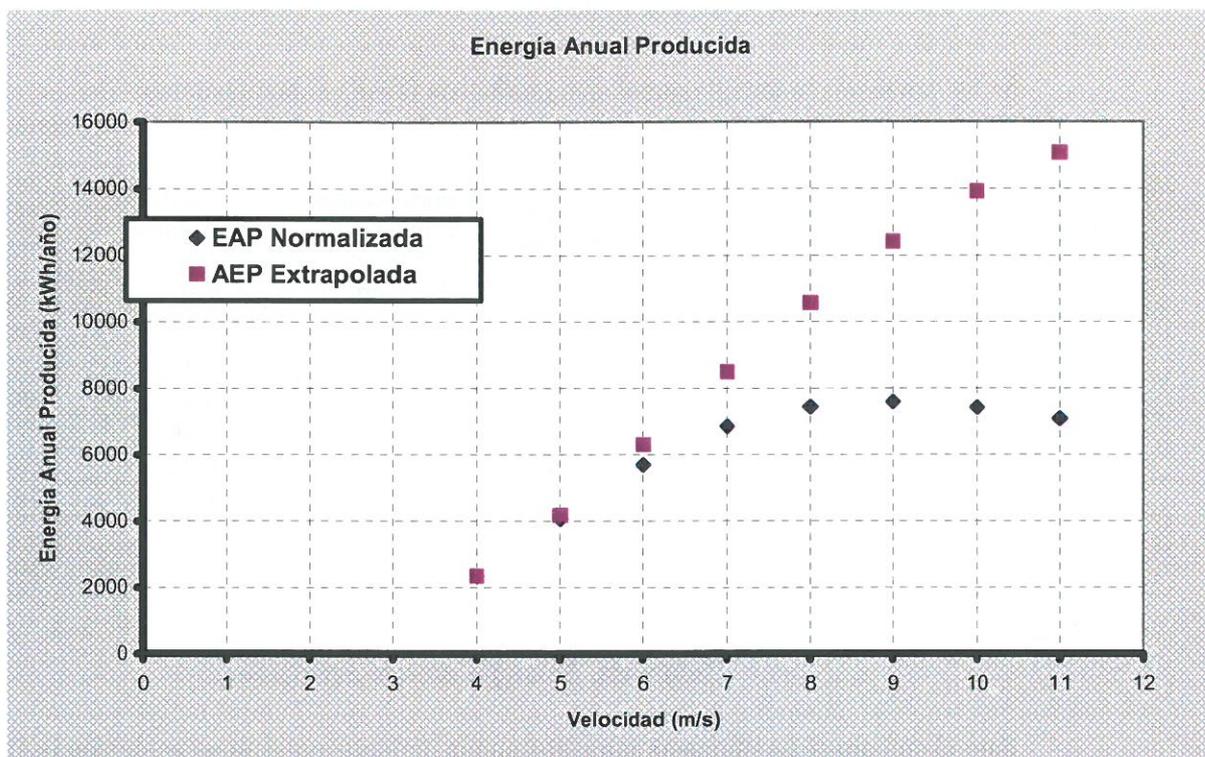


Figura 11. Energía Anual Producida y Energía Anual Extrapolada

7. CONCLUSIONES

Se han analizado las actuaciones de aerogenerador Bornay 30000 Inclín Neo instalado en la Planta de Ensayos de Sistemas Eólicos Aislados del CIEMAT en las instalaciones del CEDER en Lobia (Soria).

En particular se ha obtenido la curva de potencia para una densidad del viento entre 1.05-1.12 kg/m³, y con un voltaje en bornes de baterías entre 23.94 V y 26.46 V, de acuerdo con el procedimiento especificado en el anexo H "Power Performance Testing of Small Wind Turbines" del borrador del estándar IEC 61400-121 Ed. 1: "Power Performance Measurements of Grid Connected Wind Turbines".

Se ha obtenido la curva de potencia normalizada en condiciones estándar y de acuerdo con el procedimiento de ajuste de la velocidad de viento.

Se han obtenido curvas de potencia a tres voltajes diferentes de la bancada de baterías, según se recomienda en el citado anexo H.

Se han calculado la curva de eficiencia del aerogenerador y la estimación de la Energía Anual Producida para varias velocidades medias de viento.

ANEXO I

Características Técnicas de los Sensores. Hojas de Calibración



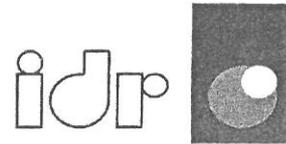
CERTIFICADO DE CALIBRACION

Certificate of Calibration

Número 1810AC
Number

Página 1 de 5 páginas
Page 1 of 5 pages

Instituto Universitario de Microgravedad "Ignacio Da Riva"
Laboratorio de Calibración en Túnel Aerodinámico, LAC, IDR/UPM
c/o E.T.S.I. Aeronáuticos
Plaza del Cardenal Cisneros, 3, E-28040 Madrid
Tel.: 91 336 63 53, Fax: 91 336 63 63
<http://www.idr.upm.es>, email: lac@idr.upm.es



OBJETO Cup Anemometer
Item

MARCA SEAC
Mark

MODELO SEN.00.0005
Model

IDENTIFICACION 9816166 ANC 01
Identification

SOLICITANTE C.I.E.M.A.T.
Applicant Avda. Complutense, 22
28040 Madrid

FECHA DE CALIBRACION 1 of October of 2003
Date of Calibration



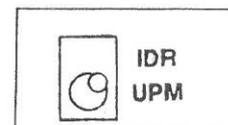
Signatarios autorizados
Authorized signatories

Nikolai Bezdenejnykh
Responsable de Operaciones
Responsible for Operations

Fecha de emisión:
Date of issue

Angel Sanz
Director Técnico
Technical Director

1 of October of 2003



Sello/Seal

Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales.
Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite y de ENAC.

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards.

This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory and ENAC.



1. ORDER IDENTIFICATION

Order reference number: Expediente 88362
Arrival date: 26/09/03

2. MEASUREMENTS

Measurements were made at the Wind Tunnel of LAC, IDR/UPM following procedure PE-02 of LAC, IDR/UPM, according to the guidelines set by the MEASNET network .

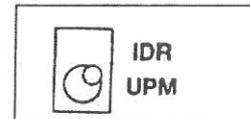
The reference velocity was measured using a Pitot tube ISO3966.

The anemometer was placed on the mounting pillar of the wind tunnel test section which is rectangular of 0.9 m height and 0.9 m width. Before calibration, the anemometer was run at a steady wind tunnel velocity of 10 m/s for 5 minutes in order to avoid the effect that the temperature variations may have on the mechanical friction of the anemometer bearings. Calibration was performed under both rising and falling wind speed in the range of 4 to 16 m/s. The sampling frequency was 10 Hz and the sampling interval was 30 s. Before collecting data at each wind speed, 1 minute delay was allowed for stable conditions to become established.

The calibration campaign is described in Report "ANEMOMETER CALIBRATION REPORT. CAMPAIGN 2000".

3. LIST OF EQUIPMENT USED

Instrument	Manufacturer	Type	Serial Number	Code	Calibration	
					Date	Traceability
Pitot Tube	AIRFLOW	0.48	N.A.	9410009	15/11/01	DKD S0486
Pressure Transducer	DRUCK	LPM 5480	16122	7111004	08/04/02	ENAC 05595
Digital Multimeter	KEITHLEY	2000	0653686	1011002	11/03/03	ENAC C0829/03
Temp.-humid. Transmitter	VAISALA	HMP 142A	T0230001	9811001	21/05/03	ENAC 21044
Barometer	VAISALA	PTB 100A	T0230004	9911001	22/05/03	ENAC 21073
Universal Counter	Agilent	53131A	3736A22513	2011002	11/03/03	ENAC C1399/03
AD Converter	KEITHLEY	K575	474502	8011001	14/01/03	IDR CP006



Sello/Seal



4. AMBIENT CONDITIONS

		Mean	Min.	Max.
Air temperature:	[°C]	25.89	25.53	26.23
Air pressure:	[hPa]	932.96	932.89	933.03
Air humidity:	[%]	47.5	46.6	48.4

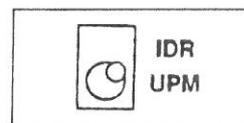
5. RESULTS

The results included in this certificate are only applicable to the calibrated instrument and to the time instant and conditions at which the calibration was carried out.

Table 1. Calibration Results

Anemometer Output F [Hz]	Reference Wind Speed V [m/s]	Residuals* [m/s]	Uncertainty ($k=2$) [m/s]
68.3870	4.0548	0.0556	0.10
92.4220	5.3553	0.0124	0.10
118.8760	6.8148	-0.0071	0.10
145.3240	8.2913	-0.0091	0.10
172.3630	9.7906	-0.0215	0.10
199.2400	11.2937	-0.0210	0.14
225.6990	12.7864	-0.0074	0.15
252.0170	14.2904	0.0252	0.17
280.9620	15.9153	0.0319	0.19
266.2890	15.0497	-0.0134	0.18
238.8700	13.5490	0.0187	0.16
212.1670	12.0303	-0.0070	0.15
185.0680	10.5162	-0.0062	0.13
158.6640	9.0214	-0.0248	0.10
131.6100	7.5289	-0.0048	0.10
105.6010	6.0595	-0.0202	0.10
79.5880	4.6242	-0.0012	0.10

"The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with EAL Publication EA -4/02".



Sello/Seal



The statistical uncertainty is given by

$$\sigma(y_a) = \left\{ x_a^2 \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + 2x_a \text{COV}(A, B) \right\}^{1/2}$$

For 10 m/s wind speed the statistical uncertainty $\sigma(y_a)$ is 0.0055 [m/s].

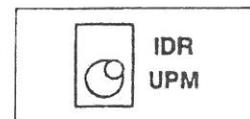
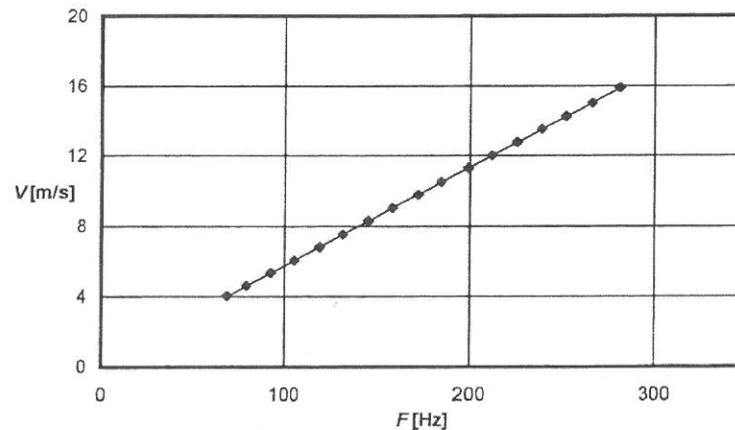
Table 2. Linear Regression Results

$$V[\text{m/s}] = A ([\text{m/s}]/[\text{Hz}]) * F [\text{Hz}] + B [\text{m/s}]$$

Parameter	Value	sd	Comments
<i>A</i>	0.05591	0.00008	Slope
<i>B</i>	0.17598	0.01549	Offset
<i>r</i>	0.99998		Regression Coefficient
sd(<i>V</i>)	0.02259		Standard Deviation

The linear regression has been carried out by using a least squares fitting. These calculations are not covered by the accreditation.

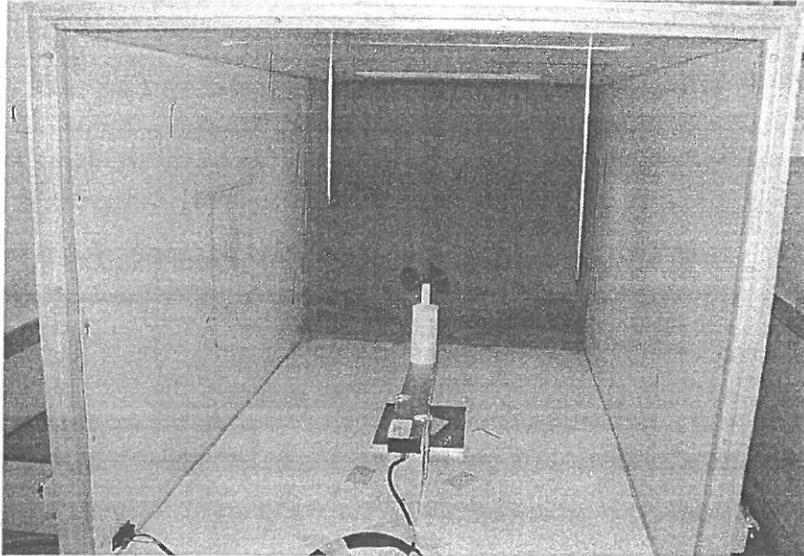
* Residuals: difference between the anemometer output and the linear regression result.



Sello/Seal



Photo of the Anemometer in the Wind Tunnel



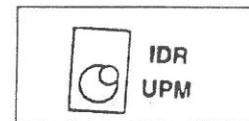
Remarks:

The photo does not correspond to the actual calibration but shows a representative arrangement of the mounting of that type of anemometers.

Before the second calibration the anemometer is checked by client.

References

Nikolai A. Bezdenejnykh, "Anemometer Calibration Report. Campaign 2000", Ref. T/ICC/C0011



Sello/Seal

ANEXO II:
CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

A. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

La curva de potencia medida, debe ir acompañada de un análisis de incertidumbres. Las incertidumbres están divididas en dos categorías, A y B como recomienda la norma IEC 61 400-12. En ambas categorías las incertidumbres se expresan en términos de desviaciones estándar denominándose incertidumbres estándar. Combinando ambas categorías se obtienen las incertidumbres combinadas para la curva de potencia y la producción anual de energía. Adicionalmente pueden ser expresadas como incertidumbres extendidas, multiplicando las incertidumbres estándar por un factor de cobertura para diferentes niveles de confianza estadística.

A.1. Incertidumbres de la categoría A

La única incertidumbre de la categoría A que necesita ser considerada es la incertidumbre de los datos de potencia eléctrica medidos y normalizados en cada intervalo. La desviación estándar de la distribución de los datos de potencia normalizada en cada intervalo es calculada por la ecuación:

$$\sigma_{P,i} = \sqrt{\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^{N_i} (P_i - P_{n,i,j})^2} \quad (\text{A.1})$$

Donde

- $\sigma_{P,i}$ Es la desviación estándar de los datos de potencia normalizados en un intervalo i
- N_i Es el número de grupos de datos de 10 minutos en un intervalo i
- P_i Es la salida de potencia promediada y normalizada en un intervalo i
- $P_{n,i,j}$ Es la salida de potencia normalizada del grupo de datos j en un intervalo i

La incertidumbre estándar de la potencia promediada y normalizada en el intervalo es estimada por la ecuación:

$$s_i = s_{P,i} = \frac{\sigma_{P,i}}{\sqrt{N_i}} \quad (\text{A.2})$$

donde

- $s_{P,i}$ es la incertidumbre estándar de la categoría A de la potencia en un intervalo i
- $\sigma_{P,i}$ es la desviación estándar de los datos de potencia normalizada en un intervalo i
- N_i es el número de grupos de datos de 10 minutos en un intervalo i

A.2. Incertidumbres de categoría B

Planta de Ensayo de Pequeños Aerogeneradores (PEPA)	INFORME DE ENSAYO DE CURVA DE POTENCIA Aerogenerador Bornay Inclín Neo 3000	Revisión: 1 PAGINA 40 de 50
---	--	--------------------------------

Las incertidumbres de la categoría B están relacionadas a los instrumentos, a el sistema de adquisición de datos, y al terreno que rodea el área de ensayo. Si las incertidumbres están expresadas como límites de incertidumbre, o tienen factores de cobertura implícitos no unitarios, deberá ser estimada la incertidumbre estándar o se deberán convertir en incertidumbres estándar.

A.2.1. Incertidumbres de categoría B del sistema de adquisición de datos

Pueden haber incertidumbres procedentes de las líneas de transmisión, el acondicionamiento de señal, la conversión analógica a digital, y el procesado de los datos, en el sistema de adquisición. Las incertidumbres pueden ser diferentes para cada canal de medida. La incertidumbre estándar del sistema de adquisición de datos para el rango completo de un cierto canal de medida, $u_{d,i}$, puede ser expresado como:

$$u_{d,i} = \sqrt{u_{d1,i}^2 + u_{d2,i}^2 + u_{d3,i}^2} \quad (\text{A.3})$$

donde

- $u_{d1,i}$ es la incertidumbre en la transmisión y el acondicionamiento de la señal en un intervalo i
- $u_{d2,i}$ es la incertidumbre en la digitalización en un intervalo i , por ejemplo para cuantificar la resolución
- $u_{d3,i}$ es la incertidumbre del resto de las partes del sistema de adquisición de datos (software, sistema de almacenamiento) en un intervalo i

A.2.2 Incertidumbres de categoría B de la potencia eléctrica

La incertidumbre del sensor de potencia está formada por las contribuciones de los transformadores de intensidad y tensión, y por el transductor de potencia. Las incertidumbres de estos sub-componentes están normalmente establecidas por su clasificación.

La incertidumbre estándar de la potencia eléctrica para cada intervalo, $u_{p,i}$, se calcula combinando las incertidumbres estándar del transductor de potencia, de los transformadores de intensidad y tensión y del sistema de adquisición de datos:

$$u_{p,i} = \sqrt{u_{p1,i}^2 + u_{p2,i}^2 + u_{p3,i}^2 + u_{pP,i}^2} \quad (\text{A.4})$$

donde:

- $u_{P1,i}$ es la incertidumbre en los transformadores de intensidad en un intervalo i
 $u_{P2,i}$ es la incertidumbre en los transformadores de tensión en un intervalo i
 $u_{P3,i}$ es la incertidumbre en el transductor de potencia en un intervalo i
 $u_{dP,i}$ es la incertidumbre en el sistema de adquisición de datos del canal de la potencia en un intervalo i

A.2.3 . Incertidumbres de categoría B de la velocidad de viento

La categoría de incertidumbre B de la velocidad de viento en un intervalo i , $u_{V,i}$, puede ser expresado como:

$$u_{V,i} = \sqrt{u_{V1,i}^2 + u_{V2,i}^2 + u_{V3,i}^2 + u_{V4,i}^2 + u_{dV,i}^2} \quad (\text{A.5})$$

dónde

- $u_{V1,i}$ es la incertidumbre de la calibración del anemómetro en un intervalo i
 $u_{V2,i}$ es la incertidumbre debida a las características operacionales del anemómetro en un intervalo i
 $u_{V3,i}$ es la incertidumbre de la distorsión del flujo debidas a efectos del montaje en un intervalo i
 $u_{V4,i}$ es la incertidumbre de la distorsión del flujo debidas al terreno en un intervalo i
 $u_{dV,i}$ es la incertidumbre en el sistema de adquisición de datos del canal de velocidad de viento en un intervalo i

El factor de sensibilidad se determina por la pendiente local de la curva de potencia medida:

$$c_{V,i} = \frac{P_i - P_{i-1}}{V_i - V_{i-1}} \quad (\text{A.6})$$

A.2.4 . Incertidumbres de categoría B de la densidad del aire.

La densidad del aire se deriva de las medidas de temperatura y presión del aire. La medida de la temperatura debe incluir las siguientes componentes de incertidumbre:

- incertidumbre de la calibración del sensor de temperatura;
- incertidumbre debida a la imperfecta protección de radiación del sensor (una mala protección del sensor incrementa la temperatura)

• incertidumbres debidas a efectos del montaje (variaciones del perfil vertical de temperatura del aire del día a la noche, influyen en la estimación de temperatura, si el sensor no está a la altura del buje).

La incertidumbre estándar en la medida de la temperatura del aire para cada intervalo, $u_{T,i}$, puede ser expresada como:

$$u_{T,i} = \sqrt{u_{T1,i}^2 + u_{T2,i}^2 + u_{T3,i}^2 + u_{dT,i}^2} \quad (\text{A.7})$$

donde

- $u_{T1,i}$ es la incertidumbre de la calibración del sensor de temperatura en un intervalo i
- $u_{T2,i}$ es la incertidumbre debida a la protección de radiación del sensor en un intervalo i
- $u_{T3,i}$ es la incertidumbre debida a efectos del montaje del sensor de temperatura en un intervalo i
- $u_{dT,i}$ son las incertidumbres en el sistema de adquisición de datos del canal de temperatura del aire en un intervalo i

El factor de sensibilidad para las medidas de temperatura del aire sobre el nivel del mar es estimado por:

$$c_{T,i} \approx \frac{P_i}{288,15} [kW / K] \quad (\text{A.8})$$

Las medidas del sensor de presión del aire deben incluir primero un factor de corrección para corregir la presión del aire a la altura del buje, si el sensor no es colocado a esa altura. Una incertidumbre debida a estas correcciones debe ser considerada, y la incertidumbre (calibración) del sensor de presión debe incluirse. La incertidumbre estándar en la medida de la presión del aire para cada intervalo, $u_{B,i}$, es:

$$u_{B,i} = \sqrt{u_{B1,i}^2 + u_{B2,i}^2 + u_{dB,i}^2} \quad (\text{A.9})$$

donde

- $u_{B1,i}$ es la incertidumbre de la calibración del sensor de presión en un intervalo i
- $u_{B2,i}$ es la incertidumbre debida a efectos del montaje del sensor de presión en un intervalo i
- $u_{dB,i}$ son las incertidumbres en el sistema de adquisición de datos del canal de presión del aire en un intervalo i

El factor de sensibilidad para la medida de presión del aire sobre el nivel del mar es

estimado por:

$$c_{B,i} \approx \frac{P_i}{1013} [kW / hPa] \quad (\text{A.10})$$

A.2.5 . Incertidumbres de la categoría B combinadas

Las incertidumbres de la categoría B son combinadas en cada intervalo como:

$$u_i = \sqrt{u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2} \quad (\text{A.11})$$

A.3 . Incertidumbre estándar combinada de la Curva de Potencia

Las incertidumbres estándar combinadas de cada intervalo de la curva de potencia son halladas combinando todas las incertidumbres de la categoría A y de la categoría B.

$$u_{c,i} = \sqrt{s_i^2 + u_i^2} = \sqrt{s_{P,i}^2 + u_{P,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2} \quad (\text{A.12})$$

A.4 . Incertidumbre estándar combinada de la Producción de Energía

Las incertidumbres estándar combinadas de la AEP son halladas combinando individualmente las incertidumbres de la categoría A y de la categoría B por intervalos:

$$u_{AEP} = N_h \sqrt{\sum_{i=1}^N f_i^2 s_i^2 + \left(\sum_{i=1}^N f_i u_i \right)^2} \quad (\text{A.13})$$

A.5 . Incertidumbre extendida

Las incertidumbres estándar combinadas de la potencia y la AEP pueden adicionalmente ser expresadas como incertidumbres extendidas. Refiriéndose a la guía ISO y asumiendo distribuciones normales, se pueden calcular los intervalos que tengan niveles de confianza mostrados en la tabla 7.5.18.5.1, multiplicando las incertidumbres estándar por el factor de cobertura también mostrado en dicha tabla.

Nivel de confianza (%)	Factor de cobertura
68,27	1,000
90,00	1,645
95,00	1,960
95,45	2,000
99,00	2,576
99,73	3,000

Tabla A.5.1 Incertidumbres extendidas

A.6.Datos del cálculo de incertidumbre

A continuación se presentan los resultados para el caso de tensión de 25 voltios

DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

Parámetro medido	Componente	Límite de incertidumbre	Observaciones
Potencia eléctrica	Convertidor de tensión	" $\pm 0.5\%$ / raíz (3) "	
	Convertidor de tensión	" $\pm 0.5\%$ / raíz (3) "	
	Shunt	" $\pm 0.5\%$ / raíz (3) "	
	SAD	2 W	
Velocidad de viento	Calibración anemometro	" $\pm(0,1583/\text{raíz}(3))$ "	del certificado de cal.
	Característica de operación	" $\pm 0.5\%$ de la velocidad"	valor conservativo usual
	Efectos de montaje	" 1% de la velocidad"	valor conservativo usual
	Calibración del emplazam.	0%	terreno llano
	SAD	0,01 m/s	
Temperatura del aire	Sensor de temperatura	1K	
	Protección contra radiación	2K	valor conservativo usual
	Efectos de montaje	0,2 K	valor conservativo usual
	SAD	1 K	
Presión del aire	Sensor de presión	2 h Pa	
	Efectos de montaje	1 h Pa	valor conservativo usual
	SAD	1 h Pa	

Tabla A.6.1 Valores de partida usados en el cálculo de incertidumbres.

Factores de Sensibilidad						
Densidad de Referencia: 1.225 kg/m ³						
Bin	Nº Registros	Velocidad (m/s)	Potencia (W)	Cvi	Cti	Cbi
1	27	1.48	0.00	0.000	0.000	0.000
2	88	2.06	0.00	0.000	0.000	0.000
3	536	2.55	0.00	0.000	0.000	0.000
4	1574	3.03	41.77	87.109	0.000	0.000
5	2401	3.50	73.70	67.337	0.000	0.000
6	2128	4.00	142.70	140.387	0.000	0.000
7	1676	4.49	234.52	186.247	0.001	0.000
8	1341	5.00	330.59	188.854	0.001	0.000
9	1033	5.48	438.27	221.609	0.002	0.000
10	770	5.99	543.90	208.179	0.002	0.001
11	515	6.48	663.73	243.656	0.002	0.001
12	308	6.98	757.00	188.844	0.003	0.001
13	209	7.46	897.60	288.410	0.003	0.001
14	115	7.96	1025.80	256.246	0.004	0.001
15	66	8.47	1213.50	373.087	0.004	0.001
16	46	8.98	1448.30	459.761	0.005	0.001
17	20	9.47	1578.60	263.658	0.005	0.002
18	19	10.06	1859.50	479.433	0.006	0.002
19	12	10.51	2189.60	736.830	0.008	0.002
20	4	10.91	2412.70	554.975	0.008	0.002
21	3	11.37	2226.10	-402.155	0.008	0.002
22	1	11.85	1943.00	-593.501	0.007	0.002
23	2	12.53	3290.50	1975.806	0.011	0.003
24	1	13.08	2927.00	-660.909	0.010	0.003

Tabla A.6.2 Factores de sensibilidad. (Densidad estándar)

Factores de Sensibilidad						
Densidad de Referencia: 1.0858 kg/m ³						
Bin	Nº Registros	Velocidad (m/s)	Potencia (W)	Cvi	Cti	Cbi
1	25	1.50	17.42	34.836	0.000	0.000
2	68	2.08	22.76	9.242	0.000	0.000
3	379	2.56	20.18	-5.346	0.000	0.000
4	1225	3.03	30.81	22.474	0.000	0.000
5	2192	3.51	54.96	50.846	0.000	0.000
6	2152	3.99	103.15	100.434	0.000	0.000
7	1802	4.48	176.70	148.796	0.001	0.000
8	1373	4.99	259.05	163.166	0.001	0.000
9	1170	5.48	343.34	169.974	0.001	0.000
10	823	5.98	435.70	184.278	0.002	0.000
11	643	6.49	541.01	209.447	0.002	0.001
12	388	6.98	616.56	153.370	0.002	0.001
13	258	7.49	723.07	210.744	0.003	0.001
14	159	7.97	837.89	236.061	0.003	0.001
15	95	8.49	970.10	256.818	0.003	0.001
16	52	9.00	1124.00	298.140	0.004	0.001
17	34	9.47	1303.20	385.211	0.005	0.001
18	17	9.92	1493.10	415.991	0.005	0.001
19	20	10.51	1628.60	231.664	0.006	0.002
20	12	11.02	1946.00	618.713	0.007	0.002
21	3	11.58	2420.60	850.538	0.008	0.002
22	2	11.89	2090.40	-1082.623	0.007	0.002
23	1	12.34	1943.00	-327.556	0.007	0.002
24	2	13.05	2916.50	1371.127	0.010	0.003

Tabla A.6.3 Factores de sensibilidad. (Densidad media del emplazamiento durante el ensayo)

Incertidumbres Categoría B					
Densidad de Referencia: 1.225 kg/m ³					
		u_p (W)	u_v (m/s)	u_t (K)	u_b (hPa)
Bin	1	2.0000	1.1562	2.4576	2.4495
	2	2.0000	1.1563	2.4576	2.4495
	3	2.0000	1.1565	2.4576	2.4495
	4	2.0036	1.1566	2.4576	2.4495
	5	2.0113	1.1568	2.4576	2.4495
	6	2.0421	1.1570	2.4576	2.4495
	7	2.1117	1.1572	2.4576	2.4495
	8	2.2165	1.1575	2.4576	2.4495
	9	2.3674	1.1577	2.4576	2.4495
	10	2.5438	1.1581	2.4576	2.4495
	11	2.7713	1.1584	2.4576	2.4495
	12	2.9642	1.1587	2.4576	2.4495
	13	3.2757	1.1591	2.4576	2.4495
	14	3.5763	1.1595	2.4576	2.4495
	15	4.0374	1.1600	2.4576	2.4495
	16	4.6391	1.1605	2.4576	2.4495
	17	4.9815	1.1610	2.4576	2.4495
	18	5.7344	1.1616	2.4576	2.4495
	19	6.6368	1.1621	2.4576	2.4495
	20	7.2543	1.1625	2.4576	2.4495
	21	6.7375	1.1631	2.4576	2.4495
	22	5.9611	1.1637	2.4576	2.4495
	23	9.7181	1.1646	2.4576	2.4495
	24	8.6927	1.1653	2.4576	2.4495

Tabla A.6.4 Incertidumbres de categoría B. (densidad estándar)

Incertidumbre Categoría B					
Densidad de Referencia: 1.0858 kg/m ³					
		u _p (W)	u _v (m/s)	u _t (K)	u _b (hPa)
Bin	1	2.0013	1.1604	2.4576	3.3752
	2	2.0011	1.1605	2.4576	3.3751
	3	2.0008	1.1605	2.4576	3.3749
	4	2.0020	1.1606	2.4576	3.3756
	5	2.0063	1.1606	2.4576	3.3782
	6	2.0221	1.1607	2.4576	3.3876
	7	2.0642	1.1607	2.4576	3.4129
	8	2.1355	1.1608	2.4576	3.4566
	9	2.2326	1.1609	2.4576	3.5174
	10	2.3634	1.1610	2.4576	3.6019
	11	2.5387	1.1611	2.4576	3.7193
	12	2.6787	1.1613	2.4576	3.8163
	13	2.8926	1.1614	2.4576	3.9694
	14	3.1408	1.1615	2.4576	4.1537
	15	3.4440	1.1617	2.4576	4.3875
	16	3.8149	1.1618	2.4576	4.6843
	17	4.2645	1.1620	2.4576	5.0573
	18	4.7563	1.1622	2.4576	5.4784
	19	5.1142	1.1624	2.4576	5.7919
	20	5.9693	1.1626	2.4576	6.5593
	21	7.2762	1.1628	2.4576	7.7676
	22	6.3641	1.1629	2.4576	6.9205
	23	5.9611	1.1631	2.4576	6.5519
	24	8.6632	1.1634	2.4576	9.0799

Tabla A.6.5 Incertidumbres de categoría B. (densidad media del emplazamiento durante el ensayo)

Curva de Potencia del Aerogenerador BORNAY 3000 Inclín Neo

Realizada en el CEDER, Lubia (Soria)

**Por el Departamento de Energías Renovables del CIEMAT
Avda. Complutense 22
28040 – Madrid
España**

Ministerio de Ciencia e Innovación

L. CANO, O. IZQUIERDO, E. SORIA, I. CRUZ

REVISIÓN 1

2 de Junio de 2008

Clave Proyecto: E22

Número de Ejemplares: 50

REF 0806

SUMARIO:

Este documento presenta los resultados obtenidos a partir de las medidas realizadas en un aerogenerador Bornay 3000 Inclín Neo, instalado en la Planta de Ensayos de Sistemas Eólicos Aislados del CIEMAT en las instalaciones del CEDER en Lubia (Soria), con el objeto de obtener las características funcionales del aerogenerador, y en particular sus actuaciones (Curva de Potencia).

ABSTRACT:

This report described the results of the power performance testing performed in the Bornay 3000 Inclín Neo wind turbine, installed at the CIEMAT. Test Plant for Autonomous Wind Systems located at CEDER, Lubia (Soria), for power characterization of the wind turbine.