

# Estándares de SWT

**Luis Cano**

***Unidad de Energía Eólica  
CIEMAT***

# Indice

---

- Antecedentes.
- Normas específicas de aerogeneradores.
- Normativa de conexión a red de aerogeneradores.
- Ensayo de aerogeneradores.
- Conclusión

# Antecedentes

- Un poco de historia.....
- El primer conjunto de normas fueron escritas por Germanischer Lloyd (GL) en 1986.
- En 1993 se publicó “*Regulation for the Certification of Wind Energy Conversion Systems*” (GL).
- El IEC (International Electrotechnical Commission) comenzó su trabajo en la década de los 80 publicando la primera norma IEC 1400-1 “*Wind turbine generator systems - Part 1 Safety Requirements*” en 1994.
- Hasta hoy en día donde hay más de 20 normas de carácter internacional en la IEC, aparte de diferentes normas y guidelines de diferentes países y empresas.

# Antecedentes

- El trabajo de normalización internacional es llevado a cabo por el subcomité IEC/TC88.
- En España, hay un subcomité de AENOR dentro del AEN/CTN 206 - Producción de Energía Eléctrica.
- Además, entidades como la Agencia Internacional de la Energía (IAE) dentro de la Task 27 están liderando proyectos en aras de mejorar las normas existentes y/o sacar nuevas.
- El Wind Turbine Certification Advisory Committee (WT CAC) está haciendo una labor de revisión y control de las normas en conjunto con el IEC /TC88. (<http://wtcertification.org/>)
- Por último decir que países como Dinamarca, EEUU, y algunos otros tienen sus propias normas.

# Normas de aerogeneradores

- **Normas Internacionales/Nacionales IEC existentes (vigentes):**
  - Norma **IEC 61400-2:2013. (12/2013)**. “Wind turbines - Part 2: Small wind turbines”.
  - Norma **IEC 61400-11:2012+AMD1:2018 (06/2018)**. “Wind Turbines. Part 11: Acoustic noise measurement techniques”.
  - Norma **IEC 61400-12-1:2017 (03/2017)**. “Wind energy generation systems - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines. Annex H. Small Wind Turbines.”
  - Norma **IEC 61400-13:2015. (12/2015)** “Wind Turbines. Part 13: Measurement of mechanical loads”.
  - Norma **IEC 61400-21-1:2019. (05/2019)** “Wind Energy Generation Systems. Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind turbines ”.
  - Norma **IEC 61400-23. (04/2014)**. “Wind Turbines. Part 13: Full-scale structural testing of rotor blades”.
  - Norma **IEC 61400-24. (07/2019)**. “Wind energy generation systems - Part 24: Lightning protection. Annex M. Small Wind Turbines”

# Normas de aerogeneradores

- Normas Internacionales/Nacionales IEC existentes (trabajo futuro):

IEC ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))



Standard development How we work



List of TC/SCs. Buscar TC 88



- La mayoría de las normas están en continuo cambio y a veces cuando se saca una edición se empieza a trabajar en la siguiente. Un cambio de estas normas se dan cada 5-10 años.

# Otros normas

## Norma americana AWEA 9.1

- Es la norma americana para la certificación de pequeños aerogeneradores.
- <https://smallwindcertification.org/for-applicants/standards/>
- Principales diferencias con las de IEC.
  - Define unos parámetros para poder comparar.
    - AWEA Rated Power. Potencia que da la máquina a 11 m/s
    - AWEA Rated Annual Energy. Energía que da una máquina a 5 m/s
    - AWEA Sound Level a 5 m/s
    - La curva de potencia se extiende a más de 5 m/s respecto a la velocidad que se alcanza el 85 % de la potencia nominal
    - En el ensayo de duración hay que tener 10 minutos por encima de 15 m/s independientemente de la clase.



# Otros normas

## Norma americana AWEA 9.1


- Etiqueta en el informe

**Solar Rating & Certification Corporation**  
**Small Wind Certification Program**

Manufacturer: **Kingspan Environmental Ltd.**

Wind Turbine Model: **KW6** (240 VAC, 1-phase, 60 Hz)

Certification Number: **SWCC-11-04**



**Rated Annual Energy**  
Estimated annual energy production assuming an annual average wind speed of 5 m/s (11.2 mph), a Rayleigh wind speed distribution, sea-level air density and 100% availability. Actual production will vary depending on site conditions.

**8,950 kWh/year**

**Rated Sound Level**  
The sound level that will not be exceeded 95% of the time, assuming an annual average wind speed of 5 m/s (11.2 mph), a Rayleigh wind speed distribution, sea-level air density, 100% availability and an observer location 60 m (200 ft) from the rotor center.

**43.1 dB(A)**

**Rated Power**  
The wind turbine power output at 11 m/s (24.6 mph) at standard sea-level conditions.

**5.2 kW**

Certified to be in Conformance with:  
**AWEA Standard 9.1 – 2009**

For SWCC Summary Report, Certificate and certification status visit:  
[www.smallwindcertification.org](http://www.smallwindcertification.org)



# Otros normas

## Norma británica RENEWABLE UK

- Es prácticamente igual a las de la IEC
- <http://www.microgenerationcertification.org/images/RenewableUK%20Small%20Wind%20Turbine%20Standard%202014%2001%2005.pdf>
- Incorpora como novedad una technical note acerca de los inversores y de como se pueden usar unos y otros sobre sistemas certificados.
- También incorpora algunas defunciones.
  - Maximum Power: The maximum output power (being the one-minute definition,  $P_{60}$ ) as defined in IEC 61400-2 ed 3.
  - Maximum Voltage: The maximum output voltage (being the one-minute definition,  $U_{60}$ ) as defined in IEC 61400-2 ed 3.
  - Maximum Current: The maximum output current (being the one-minute definition,  $i_{60}$ ) as defined in IEC 61400-2 ed 3

## Otros normas

### Norma japonesa JSWTA-0001

- Sigue la IEC pero incluye algunos puntos más restrictivos en la parte estructural.
- El ensayo de pala es condición imprescindible.
- Incorpora ensayos eléctricos algo diferentes a los de la norma IEC 61400-2.
- Es sin duda la norma más restrictiva
- Están proponiendo cosas para los aerogeneradores de eje vertical.

# Normas 61400-2

- **La norma de pequeños aerogeneradores está dispuesta en 3 grandes partes.**
  - [Aspectos generales.](#)
  - [Evaluación y metodología de diseño de pequeños aerogeneradores.](#)
  - [Ensayos tipo](#)
- **13 anexos**
  - Anexo A. Variantes de sistemas de aerogeneradores pequeños. (Inform.)
  - **Anexo B. Parámetros de diseño para la descripción de aerogeneradores pequeños de clase S (Norm.)**
  - Anexo C. Modelos de turbulencia estocásticos. (Inform.)
  - Anexo D. Descripción de la turbulencia determinista. (Inform.)
  - Anexo E. Factores de seguridad parciales para materiales (Inform.)
  - Anexo F. Desarrollo de la metodología de las cargas simplificadas (Inform.)
  - Anexo G. Ejemplos de formato de informes de ensayo. (Inform.)
  - Anexo H. Mediciones de la compatibilidad electromagnética (CEM) (Inform.)
  - **Anexo I. Análisis de la frecuencias naturales. (Norm.)**
  - Anexo J. Condiciones ambientales extremas. (Inform.)
  - Anexo K. Condiciones de viento extremas de ciclones tropicales (Inform.)
  - Anexo L. Otras condiciones de viento. (Inform.)
  - Anexo M. Etiqueta del usuario. (Inform.)

# Normas 61400-2. Aspectos generales

- **Los aspectos generales de la norma hacen referencia fundamentalmente a los siguientes aspectos.**
  - **Objeto y campo de aplicación.**
    - Aseguramiento de la calidad y seguridad de los pequeños aerogeneradores en todas las condiciones de viento y de todos los componentes que lo forman (torres, uniones, etc.)
    - Área barrida menor o igual de 200 m<sup>2</sup>. (Diámetro = 15.96 m)
    - Tensión de generación menor de 1000 V<sub>AC</sub> (en conexión a red) o 1500 V<sub>DC</sub> (sin conexión a red)
  - **Glosario y terminología empleada en la norma.**
    - Se especifican y definen los términos (con sus correspondientes símbolos) que se van a usar en el desarrollo de la norma.
  - **Elementos principales.**
    - Metodología de diseño. Se definen los métodos válidos para el diseño
      - Método simplificado.
      - Método simulación.
      - Método medida de cargas.
    - Aseguramiento de la calidad

# Normas 61400-2. Aspectos generales

Consideraciones previas. Clase.

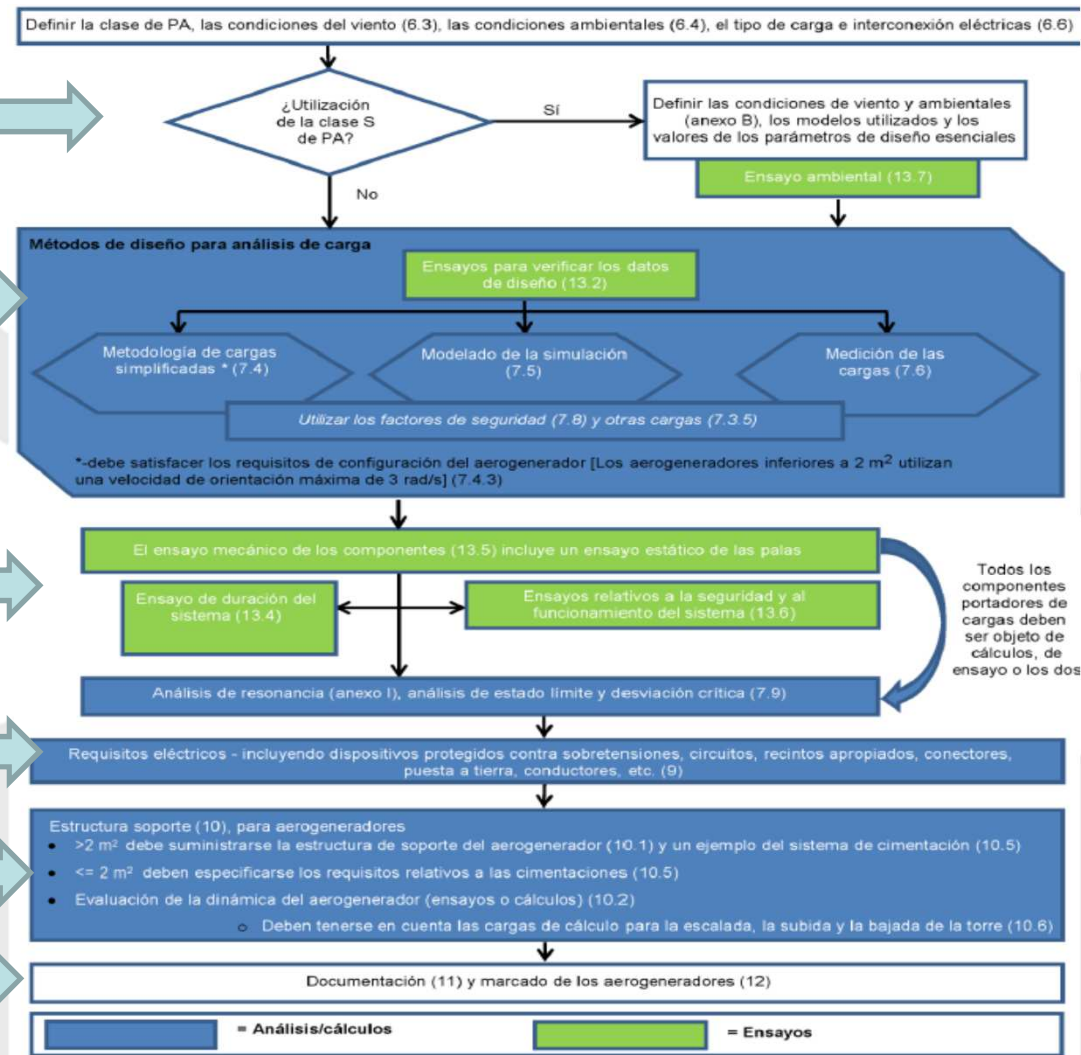
Métodos de diseño.

Ensayos.

Requisitos eléctricos.

Estructura soporte.

Informe y marcado.



# Normas 61400-2. Metodología de diseño

- Definición de clase

Clase de AP		I	II	III	IV	S
$V_{ref}$	(m/s)	50	42,5	37,5	30	Valores a especificar por el proyectista
$V_{ave}$	(m/s)	10	8,5	7,5	6	
$I_{15}$ (Nota 2)	(-)	0,18	0,18	0,18	0,18	
$\alpha$	(-)	2	2	2	2	

NOTA

- Los valores se aplican a la altura del buje, y;
- $I_{15}$  es el valor característico adimensional de la intensidad de la turbulencia para 15 m/s, donde 0,18 es el valor mínimo que debe utilizarse, y el anexo M trata de la intensidad de la turbulencia;
- $\alpha$  es el parámetro adimensional de la pendiente a utilizar en la ecuación (7).

- $V_{diseño} = 1.4 V_{ave}$  y  $V_{e50} = 1.4 V_{ref}$  (a la altura de buje)
- A partir de estas velocidades de referencia se calculan las cargas de diseño y demás sistemas de control, protección, etc.
- La norma hace referencia a todas las partes del diseño, desde el estructural, como el eléctrico, el de control, etc.
- También define lo que son los modelos de vientos normales, los de vientos extremos, los modelos de turbulencia normal, etc., con los que luego se realizan los cálculos.



# Normas 61400-2. Metodología de diseño

- Hipótesis de carga. Método de análisis simplificado.**

Situación de diseño	Hipótesis de carga		Flujo del viento	Tipo de análisis	Observaciones
Producción de energía	<b>A</b>	Operación normal		F	
	<b>B</b>	Orientación	$V_{hub} = V_{design}$	U	
	<b>C</b>	Error de orientación	$V_{hub} = V_{design}$	U	
	<b>D</b>	Empuje máximo	$V_{hub} = 2,5 V_{ave}$	U	Rotación del rotor pero puede estar plegándose o alateando
Producción de energía más ocurrencia de fallo	<b>E</b>	Velocidad de rotación máxima		U	
	<b>F</b>	Cortocircuito en la conexión de carga	$V_{hub} = V_{design}$	U	Par generador en cortocircuito máximo
Parada	<b>G</b>	Desconexión (frenado)	$V_{hub} = V_{design}$	U	
Carga extrema del viento	<b>H</b>	Carga extrema del viento	$V_{hub} = V_{e50}$	U	El aerogenerador puede estar inmovilizado (en ralentí o parada) o regulado. Ninguna intervención manual
Condiciones de inmovilización y de falta	<b>I</b>	Inmovilización con carga del viento y exposición máxima	$V_{hub} = V_{ref}$	U	El aerogenerador es cargado con la exposición más desfavorable
Transporte, montaje, mantenimiento y reparación	<b>J</b>	Deberá estar indicado por el fabricante		U	
Leyenda F análisis de cargas debidas a fatiga. U análisis de cargas críticas.					

# Norma 61400-2. Metodología de diseño

- Hipótesis de carga. Método de simulación aeroelástico.**

Situación de diseño	DLC	Condición del viento	Otras condiciones	Tipo de análisis
1) Producción de energía	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out} \circ 3 \times V_{ave}$		F, U
	1.2	ECD $V_{hub} < V_{design}$		U
	1.3	EOG <sub>50</sub> $V_{in} < V_{hub} < V_{out} \circ 3 \times V_{ave}$		U
	1.4	EDC <sub>50</sub> $V_{in} < V_{hub} < V_{out} \circ 3 \times V_{ave}$		U
	1.5	ECG $V_{hub} = V_{design}$		U
2) Producción de energía más incidencia de falta	2.1	NWP $V_{hub} = V_{design} \circ V_{out} \circ 2,5 \times V_{ave}$	Fallo en el sistema de control	U
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Fallo del sistema de protección o de control	F, U
	2.3	EOG <sub>1</sub> $V_{in} < V_{out} \circ 2,5 \times V_{ave}$	Pérdida de la conexión eléctrica	U
3) Parada normal	3.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F
	3.2	EOG <sub>1</sub> $V_{hub} = V_{out} \circ V_{máx.,shutdown}$		U
4) Parada manual o de emergencia	4.1	NTM Debe ser establecido por el fabricante		U
5) Carga extrema del viento (parada o al ralentí; o girando)	5.1	EWM $V_{hub} = V_{e50}$	Posible pérdida de potencia eléctrica de la red	U
	5.2	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$		F
6) Inmovilizado y condiciones de fallo	6.1	EWM $V_{hub} = V_{e1}$		U
7) Transporte, montaje, mantenimiento y reparación	7.1	Debe ser establecido por el fabricante		U
Leyenda F análisis de cargas debidas a fatiga. U análisis de cargas críticas.				

# Norma 61400-2. Metodología de diseño

- Hipótesis de carga. Método de simulación aeroelástico.**

Situación de diseño	DLC	Condición del viento	Otras condiciones	Tipo de análisis
1) Producción de energía	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out} \circ 3 \times V_{ave}$		F, U
	1.2	ECD $V_{hub} < V_{design}$		U
	1.3	EOG <sub>50</sub> $V_{in} < V_{hub} < V_{out} \circ 3 \times V_{ave}$		U
	1.4	EDC <sub>50</sub> $V_{in} < V_{hub} < V_{out} \circ 3 \times V_{ave}$		U
	1.5	ECG $V_{hub} = V_{design}$		U
2) Producción de energía más incidencia de falta	2.1	NWP $V_{hub} = V_{design} \circ V_{out} \circ 2,5 \times V_{ave}$	Fallo en el sistema de control	U
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Fallo del sistema de protección o de control	F, U
	2.3	EOG <sub>1</sub> $V_{in} < V_{out} \circ 2,5 \times V_{ave}$	Pérdida de la conexión eléctrica	U
3) Parada normal	3.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F
	3.2	EOG <sub>1</sub> $V_{hub} = V_{out} \circ V_{máx.,shutdown}$		U
4) Parada manual o de emergencia	4.1	NTM Debe ser establecido por el fabricante		U
5) Carga extrema del viento (parada o al ralentí; o girando)	5.1	EWM $V_{hub} = V_{e50}$	Posible pérdida de potencia eléctrica de la red	U
	5.2	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$		F
6) Inmovilizado y condiciones de fallo	6.1	EWM $V_{hub} = V_{e1}$		U
7) Transporte, montaje, mantenimiento y reparación	7.1	Debe ser establecido por el fabricante		U
Leyenda F análisis de cargas debidas a fatiga. U análisis de cargas críticas.				

## Norma 61400-2. Metodología de diseño

- **Hipótesis de carga. Medida de cargas.**
- Resultados a partir de medidas de cargas en las diferentes partes del sistema.
- Seguir la norma IEC 61400-13.
- Hay que conseguir tener condiciones similares a las hipótesis de carga expuestas con anterioridad.



Muy complicado y costoso de ejecutar  
A veces es imposible, dependiendo del tamaño del aerogenerador

# Norma 61400-2. Metodología de diseño

- **Seguridad.**

- Este punto es de vital importancia.
- En el diseño, usar los márgenes de seguridad adecuados.
- En los aspectos de protección y parada.
  - Debe haber medios disponibles para limitar la velocidad de rotación máxima.
  - Debe suministrarse un método de inmovilizar la máquina en condiciones normales (es decir en condiciones externas que sobrevienen con una ocurrencia menor de un año)
  - El sistema de protección contra la sobrevelocidad debe funcionar aunque hay un elemento externo que se rompa.
  - No se puede dejar al libre albedrío la manipulación de los sistemas que hacen que la máquina opere de manera segura.
  - Deben existir en el manual de operación, métodos perfectamente explicados para efectuar la parada normal y la parada por mantenimiento. Cuando estos estén activos, no se puede poner en funcionamiento accidentalmente.
  - El sistema eléctrico debe estar perfectamente protegido, y ser seguro tanto para las personas como la propia máquina y sus componente.

# Norma 61400-2. Ensayos

- **Ensayos de la norma.**
- Ensayo de la verificación de las condiciones de diseño.
- Se debe verificar:
  - Potencia de diseño  $P_{\text{design}}$  (Potencia de la máquina a la  $V_{\text{design}}$ )
  - Velocidad de rotación de diseño  $n_{\text{design}}$  (Velocidad de rotación de la máquina a la  $V_{\text{design}}$ )
  - Par de diseño  $Q_{\text{design}}$

$$\eta = 0,6 + 0,005 P_{\text{design}} \text{ para } P_{\text{design}} \leq 20 \text{ kW}$$

$$\eta = 0,7 \text{ para } P_{\text{design}} > 20 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{design}} = \frac{30P_{\text{design}}}{\eta\pi n_{\text{design}}}$$

- Velocidad de rotación máxima  $n_{\text{máx}}$



# Norma 61400-2. Ensayos

- **Ensayos de la norma.**
- Ensayo de la verificación de las cargas
  - Es complicado de realizar.
  - No se exige por las certificadoras debido a su enorme precio y complejidad.
  - Se sustituye por una evaluación del diseño minuciosa y el ensayo de palas.
  - Se puede realizar algunas medidas en algún componente, pero en ningún caso seguir la norma IEC 1400-13 al pie de la letra.
- Método de los bins para encontrar la velocidad máxima.
  - 2 horas de datos entre 10 y 20 m/s.
  - 30 minutos por debajo de 15 m/s y 30 por encima.
  - Se extrapola la recta que salga hasta  $V_{ref}$
  - Especial cuidado con la regulación.

# Ensayo de Aerogeneradores

## Ensayos Tipo

Ensayo Curva de Potencia

Ensayo de Ruido

Ensayo de Duración

Ensayo de Funcionamiento y Seguridad

Ensayo de Palas

# Norma IEC 61400-2 (Apartado 13.4)

El **objetivo** del ensayo de Duración es investigar:

- La integridad estructural y la degradación del material (corrosión, fisuras, deformaciones).
- La calidad de la protección medioambiental del aerogenerador.
- El comportamiento dinámico del aerogenerador.

# Requisitos para pasar el test

- Funcionamiento fiable durante el periodo de ensayo.
- Al menos 6 meses de funcionamiento.
- Al menos 2500 horas de producción de energía eléctrica con vientos de cualquier velocidad.
- Al menos 250 horas de producción de energía eléctrica con vientos de 1.2 Vave y superiores.
- Al menos 25 horas de producción de energía eléctrica con vientos de 1.8 Vave y superiores.
- Al menos 10 minutos con vientos de 2.2 Vave y superiores, pero no inferiores a 15 m/s, durante los cuales el aerogenerador debe encontrarse en funcionamiento normal.

Clase	I	II	III	IV	S
V <sub>ave</sub> (m/s)	10	8.5	7.5	6	Valor a especificar

# Fracción del tiempo de funcionamiento (%)

$$O = \frac{T_T - T_N - T_U - T_E}{T_T - T_U - T_E} \times 100\%$$

Donde:

- $T_T$  es el periodo total de tiempo en estudio.
- $T_N$  es el tiempo durante el cual el aerogenerador está notoriamente sin funcionar.
- $T_U$  es el tiempo durante el que el estado del aerogenerador es desconocido.
- $T_E$  es el tiempo que se excluye del análisis.

# Tiempos

Condición	T <sub>N</sub>	T <sub>E</sub>	T <sub>U</sub>
Fallo de red		X	
Fallo en el SAD			X
Sobre-temperatura generador	X		
Fallo detectado por el inversor	X		
Fallo del sistema de frenado	X		
Mantenimiento rutinario	X		
Mantenimiento <b>no</b> rutinario por algún fallo		X	
Inspección indicada por el fabricante en el manual	X		
Inspección <b>no</b> indicada por el fabricante en el manual		X	
Enrollamiento de cables	X		
Rotura de una pala	X		
Rotura del sistema de orientación	X		
Fallo por bajada de frecuencia en la red		X	
Fallo por sobrevoltaje		X	
Anemómetro congelado			X
Fallo en el canal de adquisición de datos			X
Parada para hacer otro ensayo (por ejemplo ruido)		X	
Perdida irresoluble de los datos			X
Fallo de un componente considerado externo al sistema		X	
Parada de emergencia	X		
Condiciones atmosféricas externas que hagan parar el aerogenerador		X	

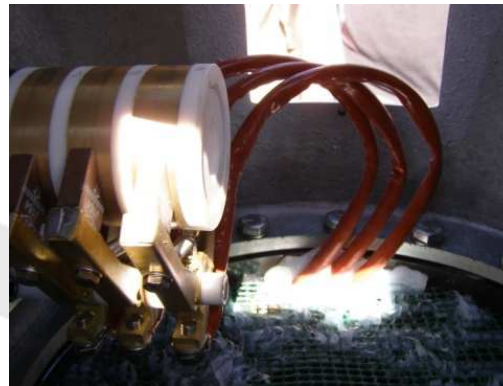


# Procedimiento

- Planta de ensayos.
- Equipos.
- Mantenimiento e inspección.
- Inspección inicial del aerogenerador.
- Recogida de datos.
- Procesamiento mensual de datos.
- Observaciones del comportamiento dinámico.
- Pasados 6 meses → Comprobamos recogida de datos.
- Degradación de producción de la potencia.
- Inspección final del aerogenerador.
- Incertidumbres.

# Inspección inicial del aerogenerador

- Checklist con todos los componentes y fotos.



# Recogida de datos

- Promediado de datos 10-minutales.
- Frecuencia de muestreo de al menos 0,5 Hz.
- Intensidad de turbulencia IT @ 15 m/s.
- Velocidad máxima en ráfagas promediadas de 3 segundos.
- Producción de potencia

# Procesado mensual de datos

- Eliminar tiempos  $T_U, T_N, T_E$
- Horas de producción de potencia.
- Velocidad máxima en ráfagas de 3 segundos.
- Intensidad de turbulencia a 15 m/s.
- Curva de potencia mensual.

November 2011		Hours of power production			AWEA	Environmental conditions		
Class	Vave (m/s)	0 m/s	1,2 Vave m/s	1,8 Vave m/s	15m/s ≤ V	Maximum speed (m/s)	TI @ 15 m/s	# TI data points @ 15 m/s
I	10	391,333333	65,33333333	2,166666667	15	24,7941	0,08253213	8
II	8,5	391,333333	110,8333333	12,66666667	15	24,7941	0,08253213	8
III	7,5	391,333333	138	32,66666667	15	24,7941	0,08253213	8
IV	6	391,333333	183,1666667	94,66666667	15	24,7941	0,08253213	8

# Comportamiento dinámico

Evaluar:

- No existe excesiva vibración.
- Observación bajo todas las condiciones de operación.
- Para velocidades del viento hasta 1,8 Vave.
- Vibraciones de la torre y resonancia.
- Ruido en el aerogenerador.

# Resultados

- Al menos 6 meses de operación.

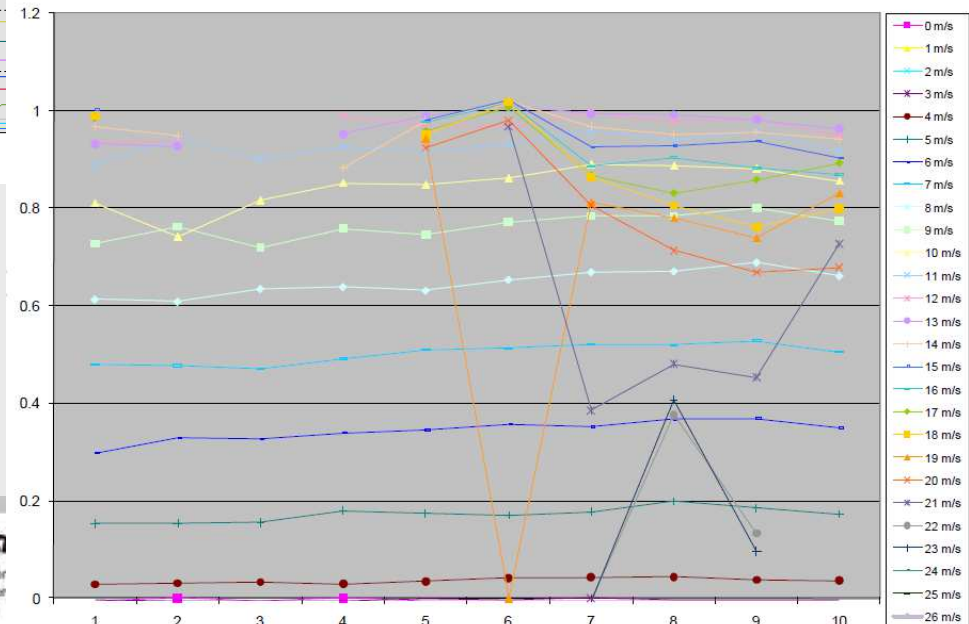
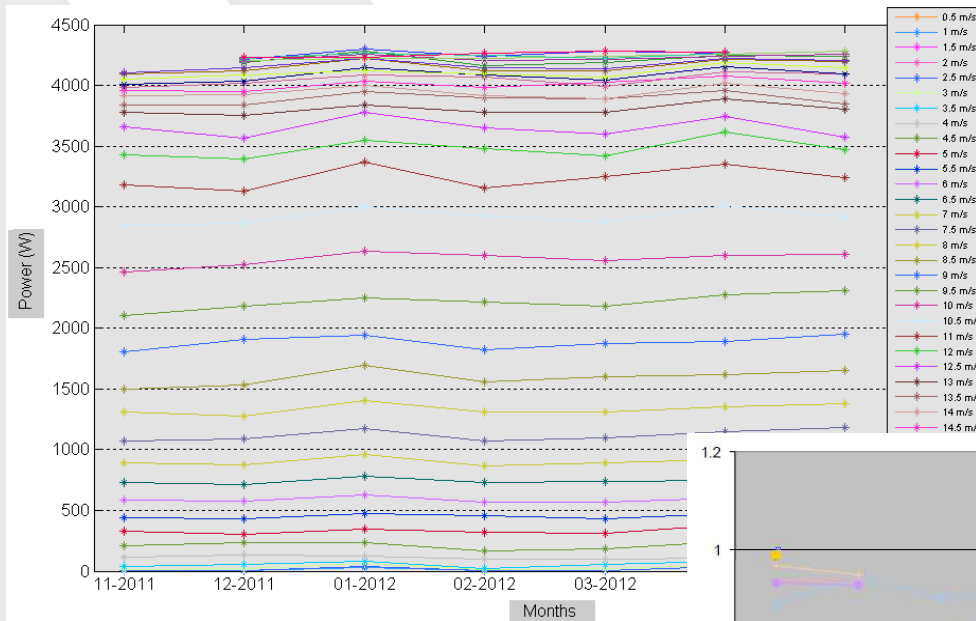
Months	Hours of power production			Environmental conditions		
	0 m/s	1.2 Vave m/s	1.8 Vave m/s	Maximum speed m/s	TI @ 15 m/s %	# TI data points @ 15 m/s
		12 m/s	18 m/s			
<b>Total</b>	<b>3307.83</b>	<b>849.33</b>	<b>330.83</b>	<b>43.95</b>	<b>8.18</b>	<b>79</b>
Nov-11	391.33	65.33	2.17	24.79	8.25	8
Dec-11	651.67	137.50	51.50	32.23	8.39	8
Jan-12	489.50	118.50	35.50	36.03	7.51	14
Feb-12	521.33	273.67	159.50	41.17	7.38	16
Mar-12	481.83	124.17	41.67	33.79	8.53	4
Apr-12	487.50	107.50	38.83	43.95	8.14	23
May-12	284.67	22.67	1.67	24.64	9.06	6

Months	Operational time fraction				
	Tt (hours)	Tn (hours)	Te (hours)	Tu (hours)	Opp (%)
<b>Total</b>	<b>4402.80</b>	<b>7.00</b>	<b>237.98</b>	<b>529.74</b>	<b>99.81</b>
Nov-11	467.80	0.00	52.00	0.50	100.00
Dec-11	744.00	1.00	43.33	41.79	99.85
Jan-12	744.00	2.00	33.50	107.68	99.67
Feb-12	672.00	0.00	2.83	171.66	100.00
Mar-12	743.00	1.00	83.50	12.32	99.85
Apr-12	720.00	3.00	15.82	194.62	99.41
May-12	312.00	0.00	7.00	1.17	100.00



# Degradación de la producción de potencia

- Para cada mes.



# Inspección tras ensayo de duración



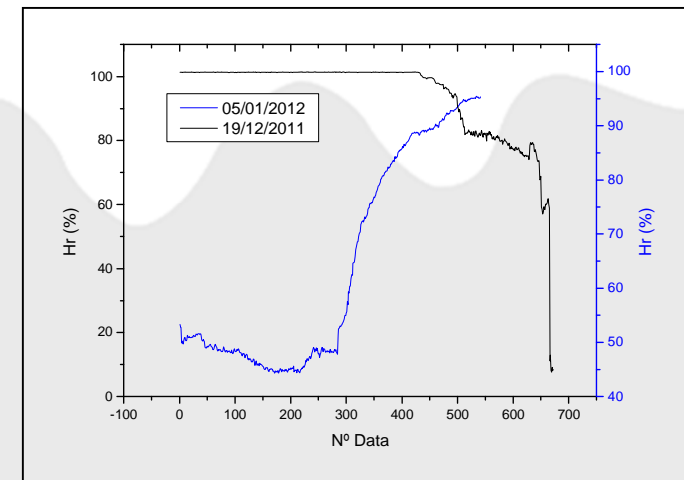
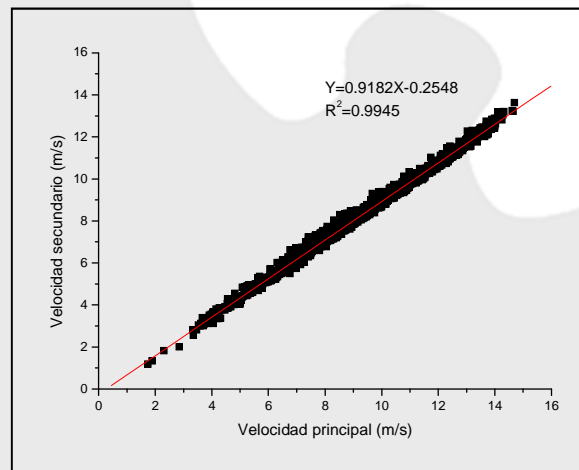
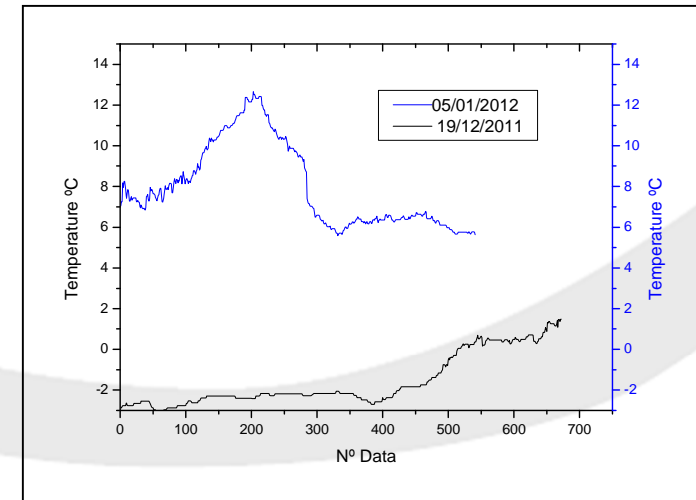
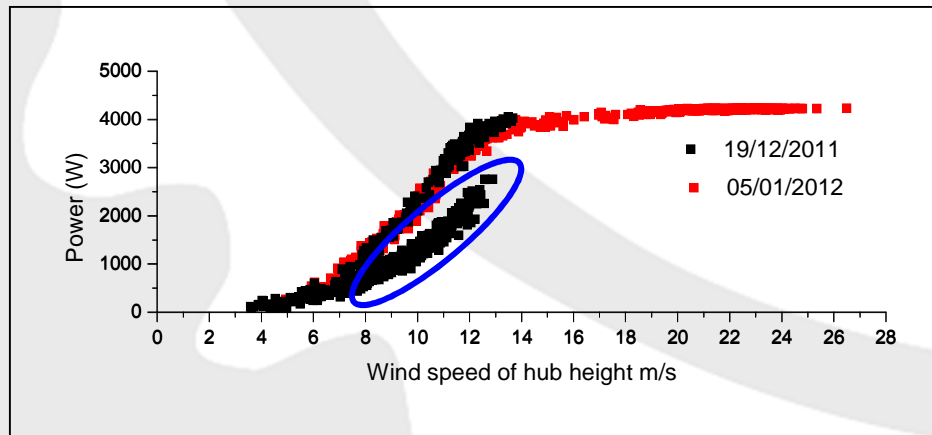
# Incertidumbres

Las incertidumbres a evaluar son:

- Horas de producción de potencia.
- Velocidad máxima en ráfagas de 3 segundos.
- Fracción de los tiempos de operación.

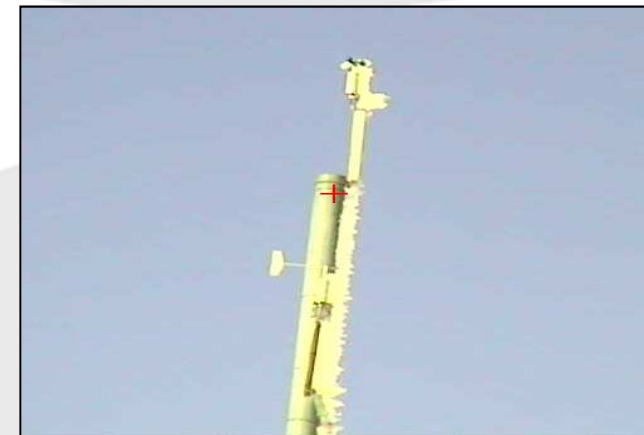
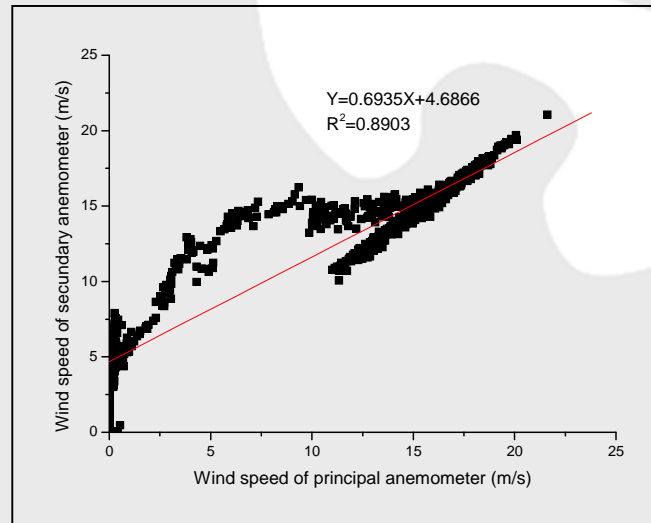
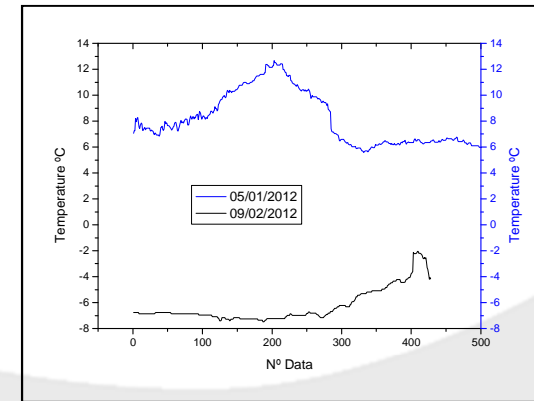
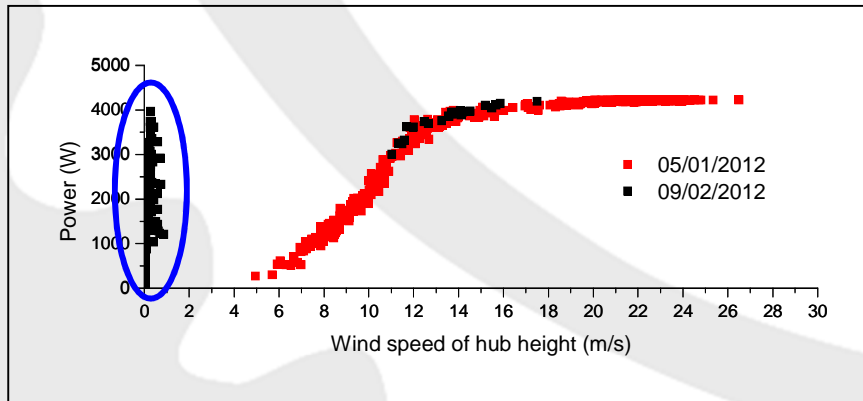
# Comprobación de datos (1)

- Hielo acumulado en las palas del aerogenerador



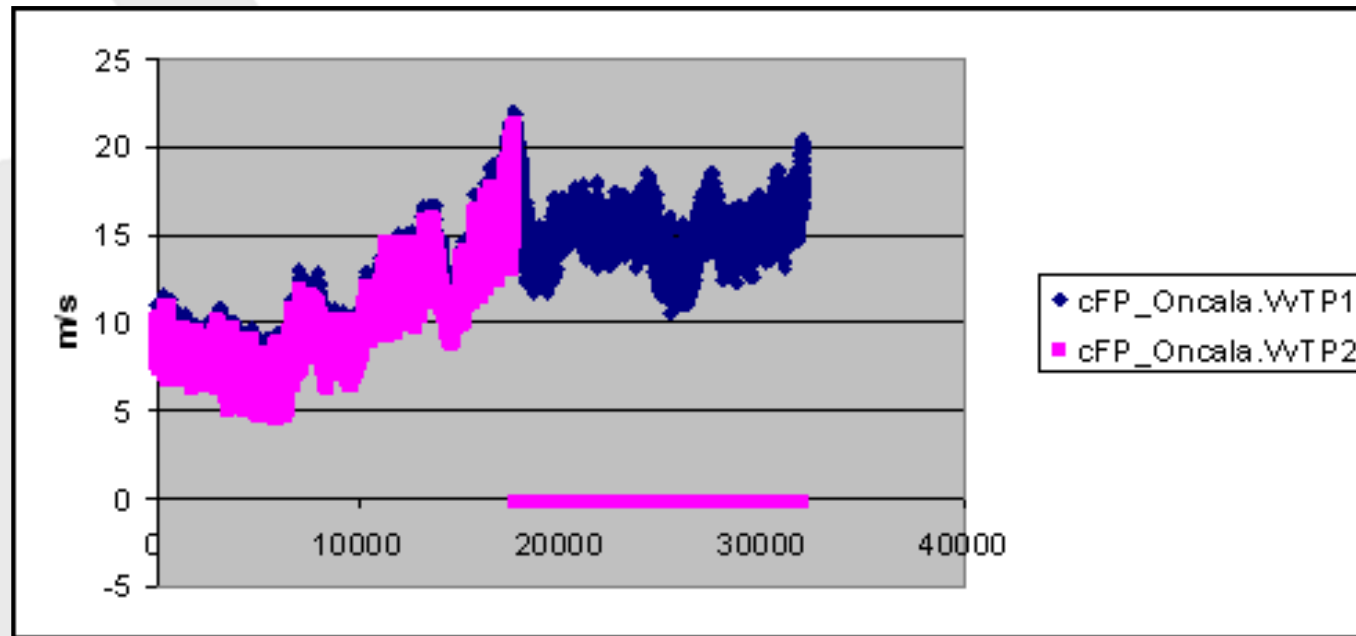
# Comprobación de datos (2)

- Anemómetro helado.



# Comprobación de datos (3)

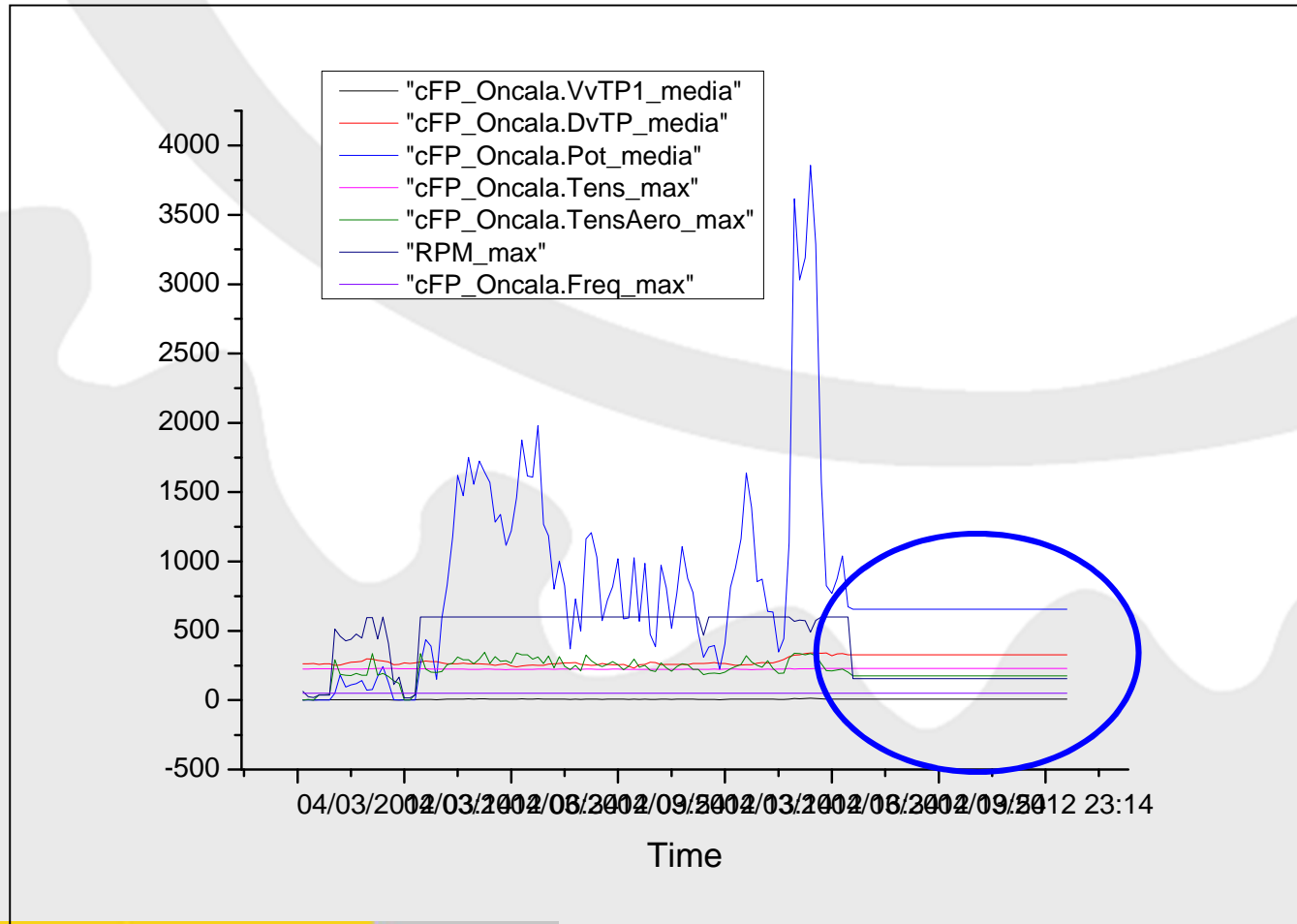
- Anemómetro roto.





# Comprobación de datos (4)

- Fallo de red.





# Pasa / No pasa

	REQUIREMENT	DURATION TEST RESULTS	PASS/FAIL
<b>HOURS OF POWER PRODUCTION</b>	At least 6 months of operation.	6 months and 2 days.	<b>PASS</b>
	At least 2500 hours of power production in winds of any velocity.	3307.83 hours.	<b>PASS</b>
	At least 250 hours of power production in winds of $1.2V_{ave}$ and above (10 m/s for Class I).	849.33 hours.	<b>PASS</b>
	At least 25 hours of power production in winds of $1.8V_{ave}$ and above (10 m/s for Class I).	330.83 hours.	<b>PASS</b>
	At least 25 hours in wind speeds of 15 m/s and above.	529 hours.	<b>PASS</b>
<b>RELIABLE OPERATION</b>	Operational time fraction at least 90%.	99.81 %	<b>PASS</b>
	No major failure of the turbine or components in the turbine system.	No major failure	<b>PASS</b>
	No significant wear, corrosion or damage to turbine components.	No significant wear, corrosion or damage.	<b>PASS</b>
	No significant degradation of produced power at comparison wind speeds.	No significant degradation of produced power.	<b>PASS</b>
<b>DYNAMIC BEHAVIOUR</b>	No excessive tower vibrations or resonances, turbine noises or tail and yaw movements.	Nothing unusual witnessed. Measured tower loads within design limits.	<b>PASS</b>



# Ensayo de seguridad y funcionamiento. Objetivo

Hay dos importantes objetivos:

1. Verificar que el aerogenerador sometido a ensayo presenta el compromiso previsto en el diseño.
2. Verificar que los dispositivos relativos a la seguridad del personal se aplican correctamente.

ADVERTENCIA IMPORTANTE

**ESTE ENSAYO NO DETERMINA SI EL  
AEROGENERADOR ES SEGURO O NO**

# Normas

## IEC 61400-2. Aerogeneradores pequeños

### Apartado 13.6 Ensayo de Seguridad y Funcionamiento

**AWEA y BWEA tienen la misma referencia a esta norma IEC, por lo que les aplica lo mismo.**

# Equipos de medida

- Los equipos de medida son los mismos que para el ensayo de duración.
- La frecuencia de muestreo puede ser en algún caso mayor de 1 segundo.
- Series temporales y promediadas son muy importante en este estudio.
- Puede ser que sean necesario instalar otros equipos de medida (ángulo de yaw, acelerómetro, etc)
- Observaciones pueden reemplazar a las medidas.
- Fotos y videos son muy útiles para entender algunas funciones.

# Funciones críticas

- ✓ **Control de potencia y de velocidad.**
- ✓ **Control del sistema de orientación (alineación con respecto al viento).**
- ✓ **Pérdida de carga.**
- ✓ **Protección contra la sobrevelocidad a la velocidad del viento de diseño o superior.**
- ✓ **Arranque y parada por encima de la velocidad del viento de diseño.**

## Funciones No críticas

- **Protección contra la vibración excesiva.**
- **Protección de la batería contra la sobretensión y subtensión.**
- **Parada de emergencia en funcionamiento normal.**
- **Torsión de cables.**
- **Aislamiento en isla (para las conexiones a la red).**



# Control de potencia y velocidad

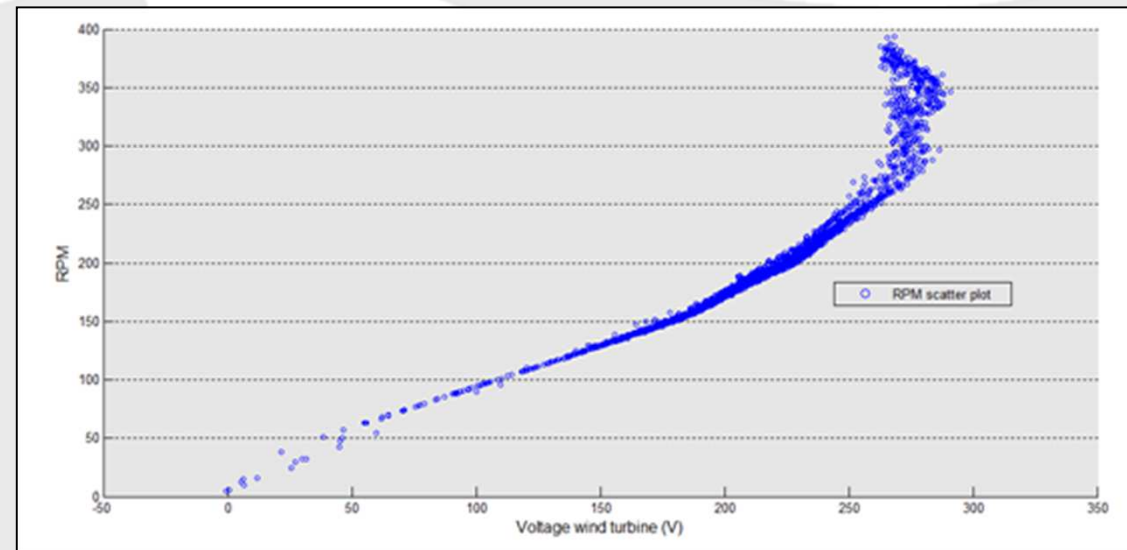
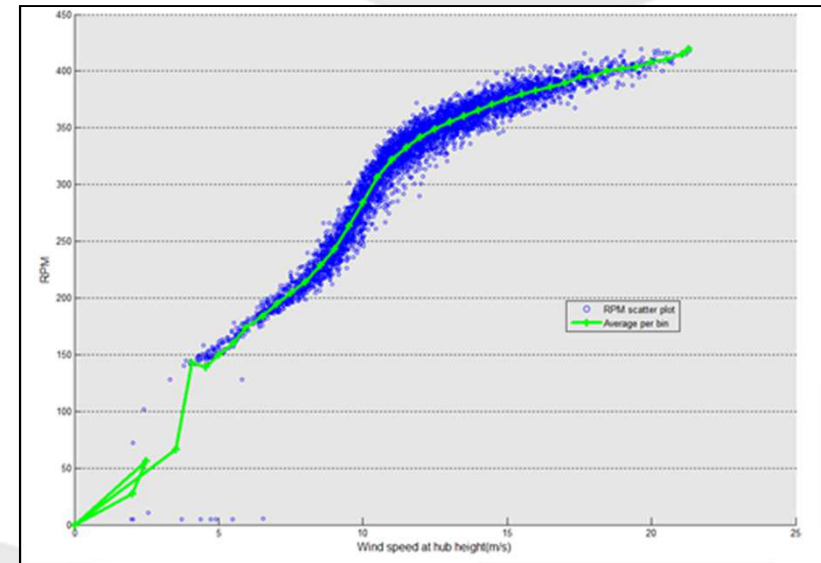
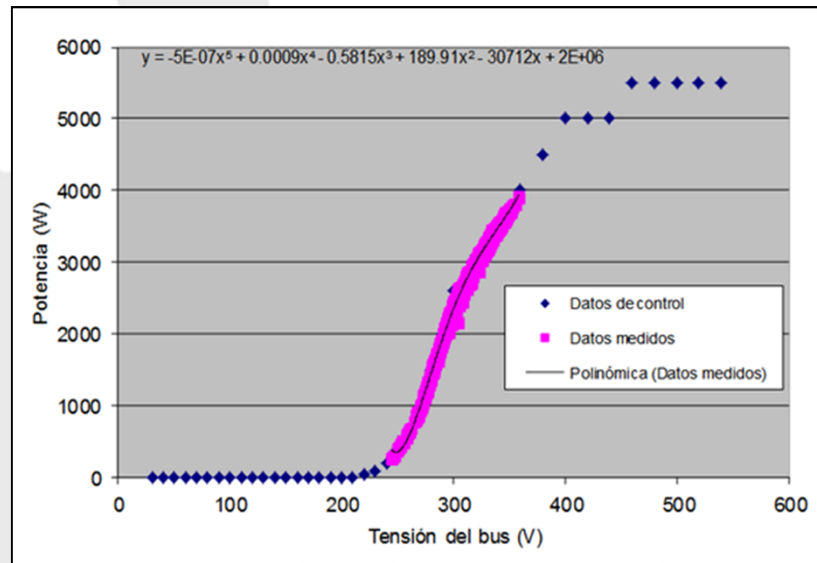
## Control de potencia

- Curva de potencia, con estos valores se muestra como el aerogenerador controla la potencia y cómo y cuándo hay limitación de potencia.
- Comportamiento después de velocidades del viento de cut-off (en caso de que el aerogenerador lo tenga).

## Control de la velocidad del rotor

- El fabricante debe declarar un control de velocidad del rotor en función de la velocidad del viento o potencia.
- Sobrevelocidad no puede ser observada o medida a menos que esté en operación manual.

# Control de potencia y velocidad



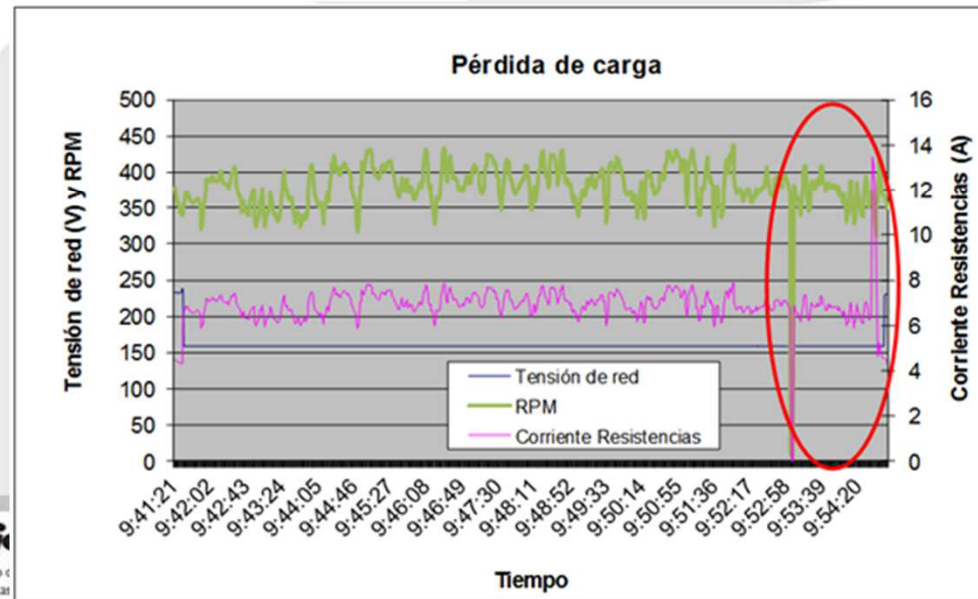
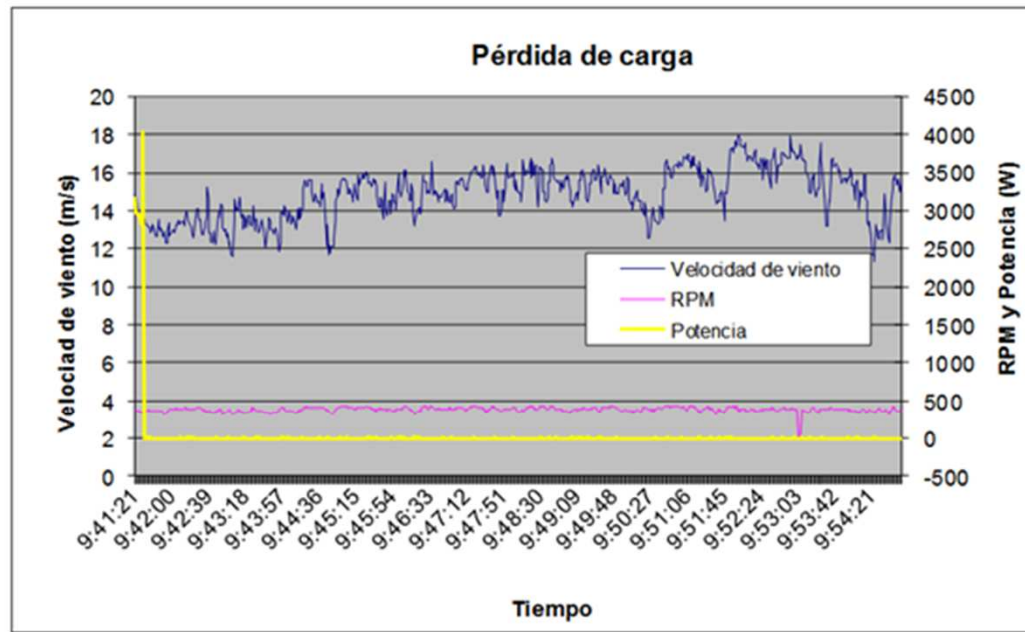
# Control del sistema de orientación

- Comprobar que el aerogenerador sigue la dirección del viento.
- Dificultad para medir el ángulo de yaw. Éste debería ser una salida del sistema de control del aerogenerador, que no perturbe el flujo de viento.
- Observación del aerogenerador en varias condiciones de viento con la ayuda de fotos y videos es la mejor opción.

# Pérdida de carga

- Comprobar el comportamiento del aerogenerador cuando se produce una pérdida de carga. Medidas de potencia, velocidad del viento, rpm, tensión de red deben ser medidas.
- Fotos y videos también pueden ser aportados.

# Pérdida de carga

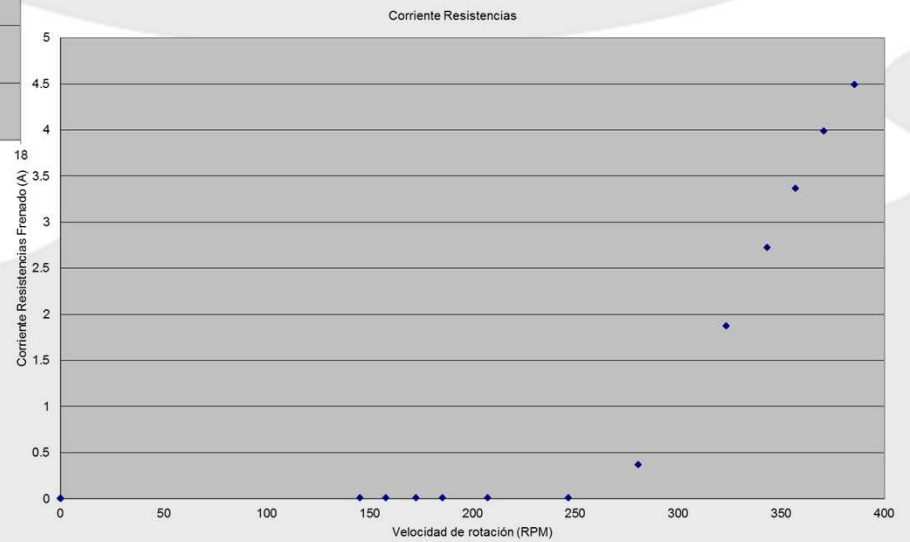
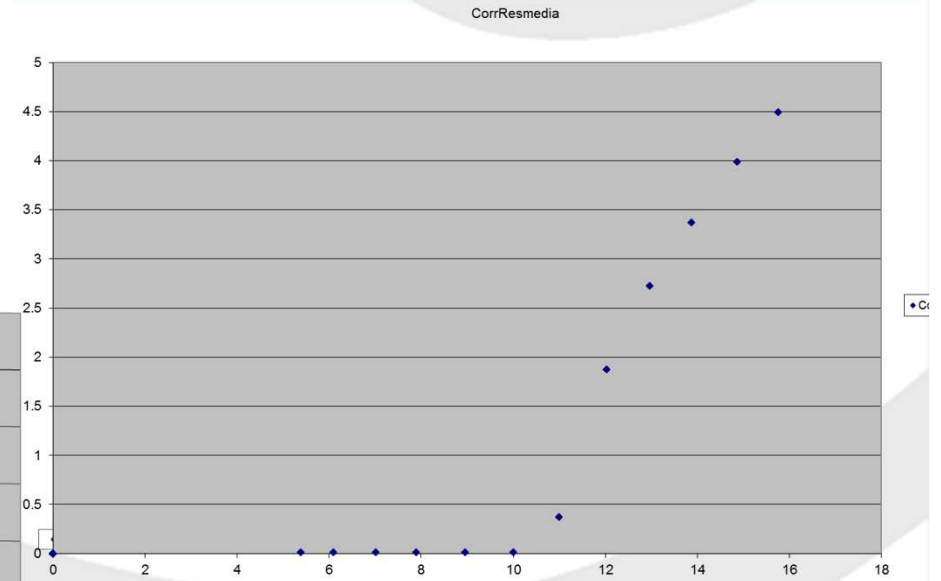
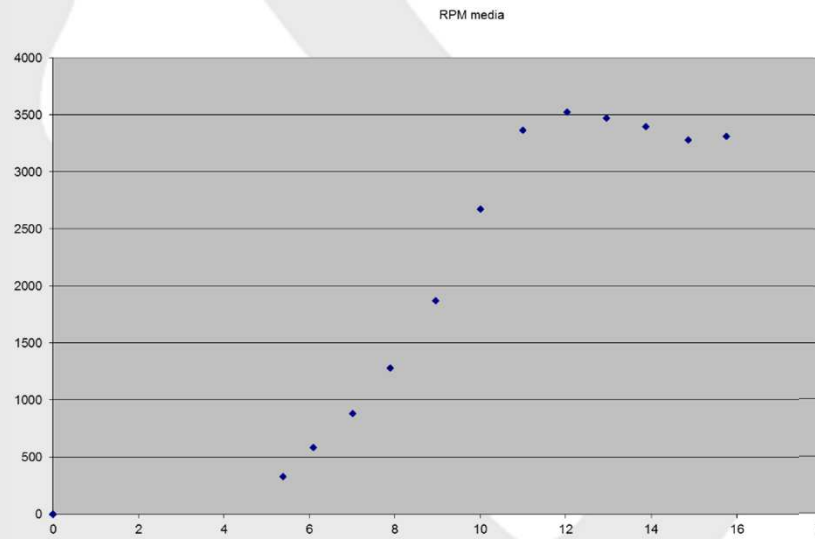


# Protección contra la sobrevelocidad

- Comprobar el comportamiento del aerogenerador cuando existe una velocidad del viento igual o superior a la velocidad de diseño del aerogenerador. Medidas de potencia, velocidad del viento, rpm, tensión de red deben ser medidas.
- En función del fabricante, tendrá un control de sobrevelocidad u otro (parada controlada del aerogenerador, o continuar con la producción pero con regulación de pitch y también electrónico, etc)
- Fotos y videos también pueden ser aportados.



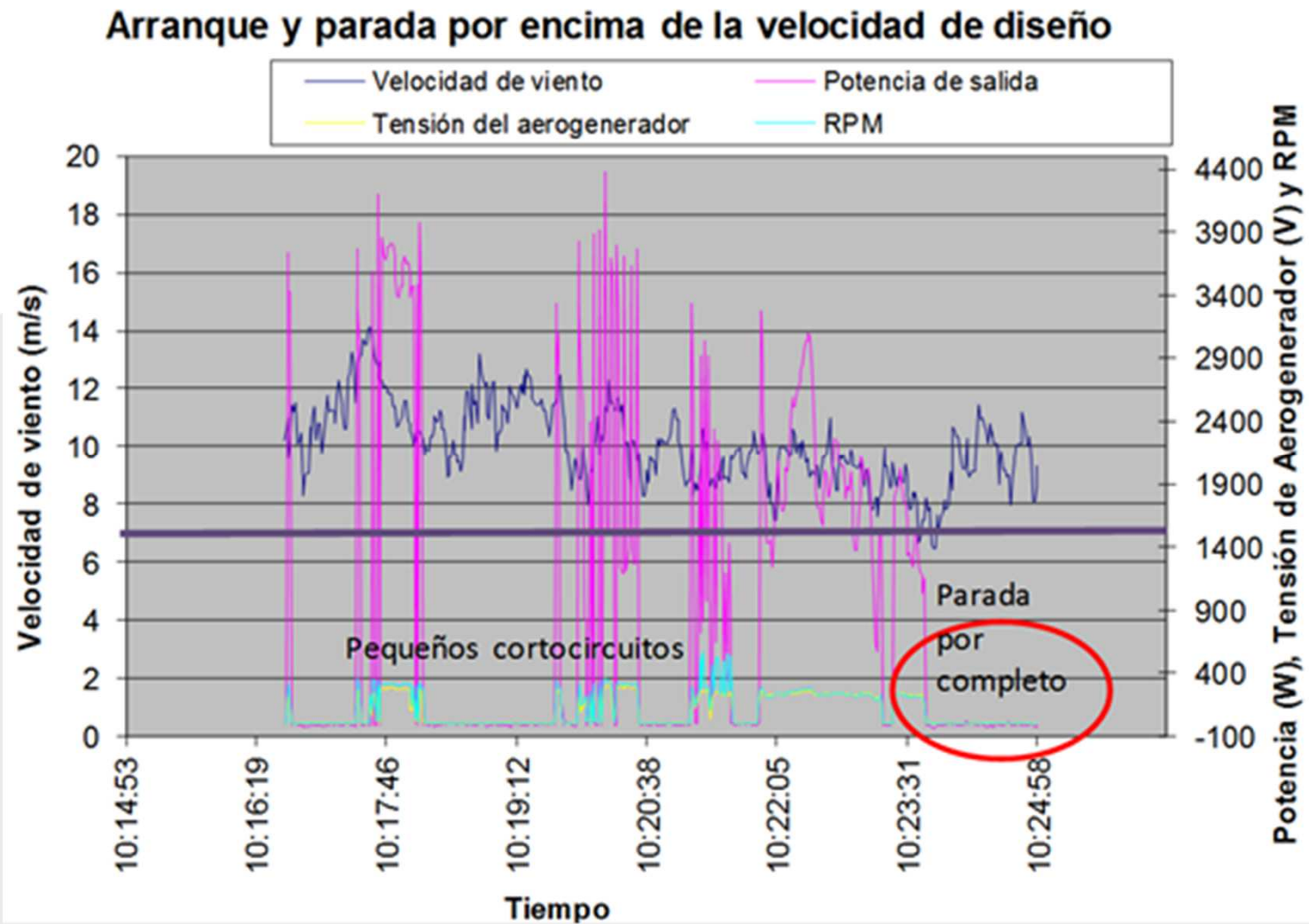
# Protección contra la sobrevelocidad



## Arranque y parado por encima de la velocidad de viento de diseño

- Comprobar el comportamiento del aerogenerador después de una parada. Debe haber al menos medidas de velocidad del viento, rpm y potencia.
- Comprobar el comportamiento del arranque del aerogenerador a velocidades por encima de la velocidad de diseño.

# Arranque y parado por encima de la velocidad de viento de diseño



## Ensayo de palas

- Peor combinación de cargas en flap y centrífugo.
- Se debe medir la deflexión máxima de la punta de la pala.
- Ensayo de propiedades mecánicas.
- Si se hace ensayo de fatiga (no obligatorio) se debe hacer siguiendo los criterios de la IEC 61400-23

## Ensayo de propiedades mecánicas

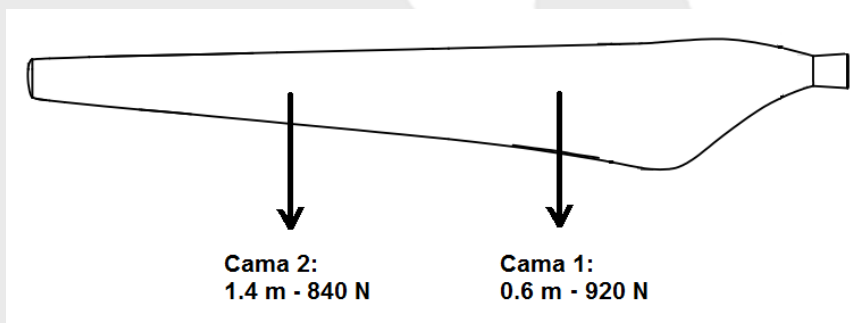
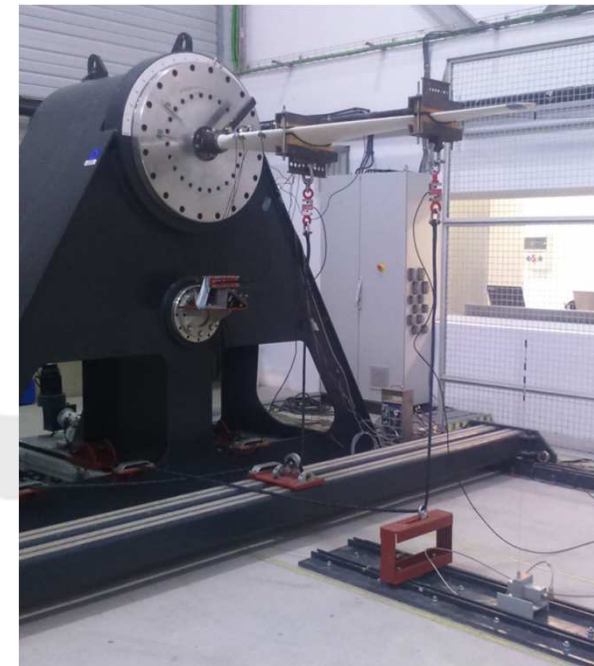
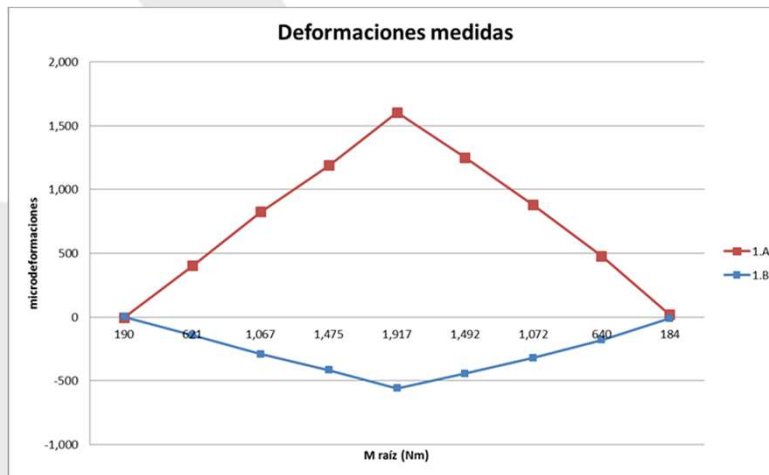
- Masa
- Centro de gravedad
- Primeras frecuencias propias
- Coeficiente de amortiguamiento

Longitud (mm)	Peso (kg)	Centro de gravedad (mm)	1ª Frecuencia Flap (Hz)	1ª Frecuencia Lead-lag (Hz)
1886.0	6.33	626.4	11.51	23.60
1886.0	6.35	628.2	11.40	23.67
1886.0	6.41	623.9	11.60	23.70



## Ensayo estático

- Medida de deformaciones en la raíz
- Ensayo de calibración.





## Ensayo centrífugo

- Simular la carga de la fuerza centrífuga.

$$\Delta F_{zB} = 2m_B R_{\text{cog}} \omega_{n,\text{design}}^2$$



# Conclusiones

- Se han expuesto las principales normas y algunos de los ensayos más largos de realizar.
- El ensayo de aerogeneradores requiere bastante tiempo y un buen número de normas por cumplir. Y por lo tanto es costoso.
- El proceso normativo es un proceso muy dinámico. Las normas están continuamente modificándose por parte de los comités internacionales.

MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN!!!!

Luis Cano  
luis.cano@ciemat.es