

Aerogeneradores

Parte 12-1: Medida de la curva de potencia de aerogeneradores productores de electricidad

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 206 *Producción de energía eléctrica*, cuya secretaría desempeña UNESA.

EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN 61400-12-1

UNE-EN 61400-12-1

Aerogeneradores

Parte 12-1: Medida de la curva de potencia de aerogeneradores productores de electricidad

Wind power generation systems. Part 12-1: Power performance measurement of electricity producing wind turbines.

Systèmes de génération d'énergie éolienne. Partie 12-1: Mesures de performance de puissance des éoliennes de production d'électricité.

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 61400-12-1:2017, que a su vez adopta la Norma Internacional IEC 61400-12-1:2017.

Esta norma anulará y sustituirá a la Norma UNE-EN 61400-12-1:2007 antes de 2020-04-08.

EXTRACTO DEL DOCUMENTO UNE-EN 61400-12-1

Prohibida la reproducción sin el consentimiento de UNE.

Todos los derechos de propiedad intelectual de la presente norma son titularidad de UNE.

Índice

Prólogo europeo	5
Declaración.....	5
Prólogo	6
Introducción.....	9
1 Objeto y campo de aplicación.....	11
2 Normas para consulta	11
3 Términos y definiciones.....	12
4 Símbolos y unidades.....	15
5 Visión general del método de rendimiento de energía	20
6 Preparación para el ensayo de rendimiento	24
6.1 Generalidades.....	24
6.2 Aerogenerador y conexión eléctrica	24
6.3 Área de ensayo	24
6.3.1 Generalidades.....	24
6.3.2 Localización del equipo de medida de viento	25
6.3.3 Sector de medida	25
6.3.4 Factores de corrección e incertidumbre debida a la distorsión del flujo ocasionada por la topografía.....	25
7 Equipo de ensayo.....	25
7.1 Potencia eléctrica	25
7.2 Velocidad del viento	27
7.2.1 Generalidades.....	27
7.2.2 Requisitos generales para anemómetros montados en mástil meteorológico.....	28
7.2.3 Anemómetros montados en el extremo superior.....	29
7.2.4 Anemómetros montados lateralmente	29
7.2.5 Dispositivos de sensor remoto (RSD)	29
7.2.6 Medida de la velocidad del viento equivalente del rotor.....	30
7.2.7 Medida de la velocidad del viento a la altura del buje.....	30
7.2.8 Medidas de la cortadura del viento.....	31
7.3 Dirección del viento.....	31
7.4 Densidad del aire.....	33
7.5 Velocidad de rotación y ángulo de paso	33
7.6 Condición de la pala.....	33
7.7 Sistema de control del aerogenerador	33
7.8 Sistema de adquisición de datos.....	33
8 Procedimiento de medida	34
8.1 Generalidades.....	34
8.2 Operación del aerogenerador.....	34
8.3 Recogida de datos.....	34
8.4 Rechazo de datos	35
8.5 Base de datos.....	35
9 Resultados derivados.....	35
9.1 Normalización de datos.....	35

9.1.1	Generalidades.....	35
9.1.2	Corrección por distorsión del flujo por el mástil meteorológico en anemómetros montados lateralmente.....	35
9.1.3	Corrección por cortadura del viento (cuando las medidas de la velocidad de viento equivalente del rotor (REWS) estén disponibles)	35
9.1.4	Corrección por cortadura direccional del viento	35
9.1.5	Normalización por densidad del aire.....	35
9.1.6	Normalización por turbulencia	35
9.2	Determinación de la curva de potencia medida.....	35
9.3	Producción anual de energía (AEP)	35
9.4	Coefficiente de potencia	35
10	Formato del informe	35
Anexo A (Normativo) Evaluación de las influencias causadas por los aerogeneradores y los obstáculos en el área de ensayo.....		
		35
A.1	Generalidades.....	35
A.2	Requisitos respecto a aerogeneradores vecinos en operación	35
A.3	Requisitos respecto a obstáculos.....	35
A.4	Método para el cálculo de los sectores a excluir	35
A.5	Requisitos especiales para obstáculos extendidos	35
Anexo B (Normativo) Evaluación del terreno en el área de ensayo		
		35
Anexo C (Normativo) Procedimiento de calibración del emplazamiento.....		
		35
C.1	Generalidades.....	35
C.2	Visión general del procedimiento	35
C.3	Preparación del ensayo.....	35
C.3.1	Consideraciones para la selección del aerogenerador de ensayo y ubicación del mástil meteorológico.....	35
C.3.2	Instrumentación	35
C.4	Adquisición de datos y criterios de rechazo.....	35
C.5	Análisis	35
C.5.1	Evaluación de las condiciones de cortadura en el emplazamiento.....	35
C.5.2	Método 1: Bines de dirección del viento y cortadura del viento.....	35
C.5.3	Método 2: Método de regresión lineal cuando la cortadura no tiene una influencia significativa.....	35
C.5.4	Cálculos adicionales	35
C.6	Incertidumbre de la calibración del emplazamiento	35
C.6.1	Incertidumbre categoría A de la calibración del emplazamiento	35
C.6.2	Incertidumbre categoría B de la calibración del emplazamiento	35
C.6.3	Incertidumbre combinada	35
C.7	Comprobaciones de calidad e incertidumbres adicionales	35
C.7.1	Comprobación de la convergencia	35
C.7.2	Comprobación de la correlación para la regresión lineal (véase C.5.3)	35
C.7.3	Variación en la corrección entre bins de dirección del viento adyacentes	35
C.7.4	Sustitución del sensor de dirección del viento entre la calibración del emplazamiento y el ensayo de rendimiento de potencia	35
C.7.5	Mediciones de la calibración del emplazamiento y rendimiento de potencia en diferentes estaciones.....	35
C.8	Verificación de resultados.....	35
C.9	Ejemplos de calibración del emplazamiento.....	35
C.9.1	Ejemplo A.....	35
C.9.2	Ejemplo B.....	35

C.9.3	Ejemplo C.....	35
Anexo D (Normativo)	Evaluación de la incertidumbre en la medida.....	35
Anexo E (Informativo)	Base teórica para determinar la incertidumbre de la medición usando el método de los bins.....	35
E.1	Generalidades.....	35
E.2	Combinación de incertidumbres	35
E.2.1	Generalidades.....	35
E.2.2	Incertidumbre expandida	35
E.2.3	Fundamentos de la evaluación de la incertidumbre	35
E.3	Incertidumbres Categoría A	35
E.3.1	Generalidades.....	35
E.3.2	Incertidumbre categoría A de la potencia eléctrica.....	35
E.3.3	Incertidumbres categoría A en la calibración del emplazamiento	35
E.4	Incertidumbre categoría B: Sistema de introducción y adquisición de datos.....	35
E.4.1	Incertidumbres categoría B: Introducción.....	35
E.4.2	Incertidumbres categoría B: Sistema de adquisición de datos.....	35
E.5	Incertidumbres categoría B: Potencia	35
E.5.1	Generalidades.....	35
E.5.2	Incertidumbres categoría B: Potencia – Transformadores de corriente	35
E.5.3	Incertidumbres categoría B: Potencia – Transformadores de tensión.....	35
E.5.4	Incertidumbres categoría B: Potencia – Transductor de potencia u otro dispositivo de medida de potencia.....	35
E.5.5	Incertidumbres categoría B: Potencia – Adquisición de datos	35
E.6	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Introducción y sensores	35
E.6.1	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Introducción.....	35
E.6.2	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Hardware.....	35
E.6.3	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Sensores montados en mástil meteorológico	35
E.7	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD.....	35
E.7.1	Generalidades.....	35
E.7.2	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD – Calibración	35
E.7.3	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD – Comprobación in situ	35
E.7.4	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD – Clasificación.....	35
E.7.5	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD – Montaje	35
E.7.6	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD – Variación del flujo	35
E.7.7	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – RSD – Ensayo de monitorización	35
E.8	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – REWS.....	35
E.8.1	Generalidades.....	35
E.8.2	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – REWS – Medida de la velocidad del viento sobre todo el rotor	35
E.8.3	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – REWS – Cortadura direccional del viento.....	35
E.9	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno	35
E.9.1	Generalidades.....	35
E.9.2	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Pre-calibración	35

E.9.3	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Pos-calibración	35
E.9.4	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Clasificación.....	35
E.9.5	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Montaje.....	35
E.9.6	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Pararrayos	35
E.9.7	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Adquisición de datos	35
E.9.8	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Variación de la corrección entre bins adyacentes	35
E.9.9	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Eliminación del sensor de dirección del viento.....	35
E.9.10	Incertidumbres categoría B: Velocidad del viento – Terreno – Variación estacional.....	35
E.10	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire	35
E.10.1	Generalidades.....	35
E.10.2	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Temperatura – Introducción.....	35
E.10.3	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Temperatura – Calibración.....	35
E.10.4	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Temperatura – Protector de radiación.....	35
E.10.5	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Temperatura – Montaje.....	35
E.10.6	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Temperatura – Adquisición de datos	35
E.10.7	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Presión – Introducción.....	35
E.10.8	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Presión – Calibración.....	35
E.10.9	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Presión – Montaje	35
E.10.10	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Presión – Adquisición de datos	35
E.10.11	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Humedad relativa - Introducción.....	35
E.10.12	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Humedad relativa - Calibración.....	35
E.10.13	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Humedad relativa - Montaje.....	35
E.10.14	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Humedad relativa - Adquisición de datos	35
E.10.15	Incertidumbres categoría B: Densidad del aire – Corrección	35
E.11	Incertidumbres categoría B: Método.....	35
E.11.1	Generalidades.....	35
E.11.2	Incertidumbres categoría B: Método – Condiciones de viento	35
E.11.3	Incertidumbres categoría B: Método – Efectos estacionales	35
E.11.4	Incertidumbres categoría B: Método – Normalización por turbulencia (o su ausencia)	35
E.11.5	Incertidumbres categoría B: Método – Clima frío.....	35
E.12	Incertidumbres categoría B: Dirección del viento	35
E.12.1	Generalidades.....	35
E.12.2	Incertidumbres categoría B: Dirección del viento – Veleta o sónico	35
E.12.3	Incertidumbres categoría B: Dirección del viento – RSD	35

E.13	Incertidumbres combinadas	35
E.13.1	Generalidades.....	35
E.13.2	Incertidumbres categoría B combinadas de la potencia eléctrica ($u_{P,i}$).....	35
E.13.3	Incertidumbres combinadas en la medición de la velocidad del viento ($u_{V,i}$).....	35
E.13.4	Incertidumbres combinadas en la medición de la velocidad del viento con anemómetros de cazoletas o sónicos ($u_{VS,i}$).....	35
E.13.5	Incertidumbres combinadas en la medida de la velocidad del viento con RSD ($u_{VR,i}$)	35
E.13.6	Incertidumbres combinadas en la medida de la velocidad del viento como REWS $u_{REWS,i}$	35
E.13.7	Incertidumbres combinadas en la medida de la velocidad del viento para la REWS, para un mástil meteorológico significativamente por encima de la altura del buje o para un RSD con un mástil meteorológico más bajo que la altura del buje.....	35
E.13.8	Incertidumbres combinadas en la medida de la velocidad del viento para la REWS, para un mástil meteorológico a altura del buje + RSD para cortadura, usando una velocidad del viento absoluta	35
E.13.9	Incertidumbres combinadas en la medición de la velocidad del viento para REWS, para un mástil meteorológico a la altura del buje y un RSD para cortadura, usando una velocidad del viento relativa.....	35
E.13.10	Incertidumbres combinadas en la medida de la velocidad del viento para REWS, debidas a la cortadura direccional del viento a través del rotor completo $u_{REWS,veer,i}$	35
E.13.11	Incertidumbres combinadas en la medición de la velocidad del viento con RSD ($u_{VR,i}$).....	35
E.13.12	Incertidumbres combinadas para la medida de la temperatura $u_{T,i}$	35
E.13.13	Incertidumbres combinadas para la medición de la presión $u_{B,i}$	35
E.13.14	Incertidumbres combinadas para la medición de la humedad $u_{RH,i}$	35
E.13.15	Incertidumbres combinadas para las componentes relacionadas con el método $u_{M,i}$	35
E.13.16	Incertidumbres combinadas para la medición de la dirección del viento con veleta o anemómetro sónico $u_{WV,i}$	35
E.13.17	Incertidumbres combinadas para la medición de la dirección del viento con RSD $u_{WR,i}$	35
E.13.18	Incertidumbres combinadas categoría B.....	35
E.13.19	Incertidumbre estándar combinada - Curva de potencia	35
E.13.20	Incertidumbre estándar combinada - Producción de energía	35
E.14	Relevancia de las componentes de incertidumbre bajo condiciones específicas	35
E.15	Tablas de referencia.....	35
Anexo F (Normativo) Procedimiento de calibración de anemómetros en		
	túnel de viento	35
F.1	Requisitos generales	35
F.2	Requisitos para el túnel de viento.....	35
F.3	Requisitos de configuración de la instrumentación y calibración	35
F.4	Procedimiento de calibración.....	35
F.4.1	Procedimiento general para anemómetros de cazoletas y sónicos	35
F.4.2	Procedimiento para la calibración de anemómetros sónicos.....	35
F.4.3	Procedimiento para la calibración de anemómetros sónicos.....	35
F.5	Análisis de datos	35
F.6	Análisis de incertidumbre.....	35
F.7	Formato del informe	35
F.8	Ejemplo de cálculo de la incertidumbre.....	35

Anexo G (Normativo)	Montaje de instrumentos sobre el mástil meteorológico	35
G.1	Generalidades.....	35
G.2	Anemómetro único montado en extremo superior	35
G.3	Anemómetros en extremo superior montados lado a lado.....	35
G.4	Anemómetros en montaje superior.....	35
G.4.1	Generalidades.....	35
G.4.2	Mástiles meteorológicos tubulares.....	35
G.4.3	Mástiles meteorológicos de celosía	35
G.5	Protección contra rayos	35
G.6	Montaje de otros instrumentos meteorológicos.....	35
Anexo H (Normativo)	Ensayo de rendimiento de potencia de pequeños aerogeneradores.....	35
H.1	Generalidades.....	35
H.2	Definiciones.....	35
H.3	Definición e instalación del sistema aerogenerador	35
H.4	Ubicación del mástil meteorológico	35
H.5	Equipo de ensayo.....	35
H.6	Procedimiento de medición.....	35
H.7	Resultados derivados.....	35
H.8	Informe.....	35
H.9	Anexo A – Evaluación de la influencia causada por los aerogeneradores y obstáculos en el área de ensayo	35
H.10	Anexo B – Evaluación del terreno en el área de ensayo	35
H.11	Anexo C – Procedimiento de calibración del emplazamiento	35
Anexo I (Normativo)	Clasificación de anemometría de cazoletas y sónica	35
I.1	Generalidades.....	35
I.2	Clases de clasificación.....	35
I.3	Rangos de los parámetros de influencia	35
I.4	Clasificación de anemómetros de cazoletas y sónicos	35
I.5	Formato del Informe	35
Anexo J (Normativo)	Verificación de la anemometría sónica y de cazoletas.....	35
J.1	Generalidades.....	35
J.2	Medidas de las características de los anemómetros	35
J.2.1	Medidas en túnel de viento para las características de respuesta angular de cabeceo de los anemómetros de cazoletas	35
J.2.2	Medidas en túnel de viento de las características direccionales de anemómetros de cazoletas.....	35
J.2.3	Medidas en túnel de viento de las características del par de rotación de anemómetros de cazoletas.....	35
J.2.4	Medidas en túnel de viento de respuestas escalonadas de anemómetros de cazoletas.....	35
J.2.5	Medida de los efectos inducidos por la temperatura sobre el funcionamiento del anemómetro.....	35
J.2.6	Medidas en túnel de viento de las características direccionales de los anemómetros sónicos	35
J.3	Un método de clasificación de anemómetros de cazoletas basado en túnel de viento y ensayos de laboratorio y modelización del anemómetro de cazoletas.....	35
J.3.1	Método.....	35
J.3.2	Ejemplo de un modelo de anemómetro de cazoletas	35
J.4	Método de clasificación de anemómetros sónicos basado en ensayos en túnel de viento y modelización del anemómetro sónico.....	35

J.5	Medidas de comparación en campo.....	35
Anexo K (Normativo) Comparación in situ de anemómetros		
K.1	Generalidades.....	35
K.2	Requisito previo.....	35
K.3	Método de análisis	35
K.4	Criterios de evaluación.....	35
Anexo L (Normativo) Aplicación de la tecnología de sensores remotos		
L.1	Generalidades.....	35
L.2	Clasificación de los dispositivos de teledetección.....	35
L.2.1	Generalidades.....	35
L.2.2	Adquisición de datos	35
L.2.3	Preparación de los datos	35
L.2.4	Principios y requisitos de un ensayo de sensibilidad	35
L.2.5	Evaluación de la importancia de una variable medioambiental.....	35
L.2.6	Evaluación de la interdependencia entre las variables medioambientales.....	35
L.2.7	Cálculo de la clase de precisión	35
L.2.8	Criterios de aceptación.....	35
L.2.9	Clasificación del RSD	35
L.3	Verificación del funcionamiento de los dispositivos de teledetección	35
L.4	Evaluación de la incertidumbre de las medidas de los dispositivos de teledetección	35
L.4.1	Generalidades.....	35
L.4.2	Incertidumbre de referencia.....	35
L.4.3	Incertidumbre resultante del ensayo de calibración del RSD.....	35
L.4.4	Incertidumbre debida a la clasificación del dispositivo de teledetección	35
L.4.5	Incertidumbre debida al flujo no homogéneo en el volumen de medida.....	35
L.4.6	Incertidumbre debida a los efectos de montaje del dispositivo deb	35
L.4.7	Incertidumbre debida la variación del flujo en el emplazamiento	35
L.5	Controles suplementarios.....	35
L.5.1	Monitorización del funcionamiento del dispositivo de teledetección en el emplazamiento	35
L.5.2	Identificación del mal funcionamiento del dispositivo de teledetección	35
L.5.3	Control de coherencia de la evaluación de las incertidumbres sistemáticas del dispositivo de sensor remoto.....	35
L.5.4	Ensayo in situ del dispositivo de sensor remoto.....	35
L.6	Otras exigencias específicas en el ensayo de curva de potencia	35
L.7	Informes.....	35
L.7.1	Informe común del ensayo de clasificación, el ensayo de calibración y la monitorización del dispositivo de sensor remoto durante la aplicación	35
L.7.2	Informe adicional del ensayo de clasificación	35
L.7.3	Informe adicional del ensayo de calibración	35
L.7.4	Informe adicional sobre la aplicación.....	35
Anexo M (Informativo) Normalización de los datos de curva de potencia por intensidad de turbulencia		
M.1	Generalidades.....	35
M.2	Procedimiento de normalización por turbulencia.....	35
M.3	Determinación de la curva de potencia de cero turbulencia.....	35
M.4	Orden de aplicación de la corrección (normalización) por cortadura del viento y normalización por turbulencia	35

M.5	Incertidumbre de la normalización por turbulencia o de las curvas de potencia debida a los efectos de la turbulencia.....	35
Anexo N (Informativo) Procedimiento de calibración en túnel de viento para sensores de dirección del viento		
N.1	Generalidades.....	35
N.2	Requisitos generales	35
N.3	Requisitos del túnel de viento	35
N.4	Requisitos de configuración de la instrumentación y la calibración.....	35
N.5	Procedimiento de calibración.....	35
N.6	Análisis de los datos	35
N.7	Análisis de incertidumbre.....	35
N.8	Formato del informe	35
N.9	Ejemplo de cálculo de la incertidumbre.....	35
N.9.1	Generalidades.....	35
N.9.2	Incertidumbres de medida generadas por la determinación de la dirección del flujo en el túnel de viento	35
N.9.3	Contribución a la incertidumbre de la medida del sensor de dirección de viento	35
N.9.4	Resultado del cálculo de la incertidumbre	35
Anexo O (Informativo) Ensayo de rendimiento de potencia en clima frío		
O.1	Generalidades.....	35
O.2	Recomendaciones.....	35
O.2.1	Generalidades.....	35
O.2.2	Anemómetros sónicos	35
O.2.3	Anemómetros de cazoletas	35
O.3	Incertidumbres	35
O.4	Informe.....	35
Anexo P (Informativo) Procedimiento de normalización por cortadura		
P.1	Generalidades.....	35
Anexo Q (Informativo) Definición de la velocidad del viento equivalente del rotor teniendo en cuenta la cortadura direccional.....		
Q.1	Generalidades.....	35
Q.2	Definición de la velocidad del viento equivalente del rotor teniendo en cuenta la cortadura direccional	35
Q.3	Medida de la cortadura direccional.....	35
Q.4	Normalización combinada por cortadura del viento y cortadura direccional del viento	35
Anexo R (Informativo) Consideraciones de incertidumbre para ensayos sobre múltiples turbinas.....		
R.1	Generalidades.....	35
Anexo S (Informativo) Corrección de la distorsión del flujo en el mástil para mástiles de celosía		
Bibliografía		35
Anexo ZA (Normativo) Otras normas internacionales citadas en esta norma con las referencias de las normas europeas correspondientes.....		
		35

Figura 1 – Requisitos de distancia del equipo de medida de viento y máximos sectores de medida permitidos.....	25
Figura 2 – Alturas de medida de la cortadura del viento apropiadas para la medida de la velocidad del viento equivalente del rotor	31
Figura 3 – Alturas de medida de la cortadura del viento cuando no hay disponibles medidas de la velocidad del viento por encima de la altura del buje (para la determinación del exponente de cortadura solamente).....	31
Figura 4 – Proceso de aplicación de las diferentes normalizaciones).....	35
Figura 5 – Presentación de un ejemplo de base de datos: Gráfico de dispersión del ensayo de rendimiento de potencia muestreado a 1 Hz (valores medios promediados sobre 10 min).....	35
Figura 6 – Presentación de ejemplo de curva de potencia medida	35
Figura 7 – Presentación de ejemplo de curva de C_p.....	35
Figura A.1 – Sectores a excluir debido a las estelas de los aerogeneradores vecinos en operación y a los obstáculos significativos	35
Figura A.2 – Un ejemplo de los sectores a excluir debido a estelas del aerogenerador de ensayo, de un aerogenerador vecino en operación y de un obstáculo significativo.....	35
Figura B.1 – Ilustración del área a evaluar, vista superior.....	35
Figura B.2 – Ejemplo de determinación de la pendiente y la variación del terreno respecto del plano de mejor ajuste: "de 2L a 4L" para el caso "sector de medida" (tabla B.1, línea 2)	35
Figura B.3 – Determinación de la pendiente para las distancias " de 2L a 4L" y "de 8L a 16L" para el caso "fuera del sector de medida" (tabla B.1, línea 3 y línea 5)	35
Figura C.1 – Diagrama de flujo de la calibración de emplazamiento	35
Figura C.2 – Tipos de terreno	35
Figura C.3 – Ejemplo de resultados de un ensayo de verificación	35
Figura C.4 – exponente de cortadura del viento vs. hora del día, ejemplo A	35
Figura C.5 – Exponentes de cortadura del viento en la ubicación del aerogenerador vs. mástil meteorológico de referencia, ejemplo A donde el eje de color = velocidad de viento (m/s)	35
Figura C.6 – Ratios de velocidad del viento y número de puntos de datos vs. exponente de cortadura y bins de dirección del viento – Ratios de velocidad del viento (líneas continuas), número de puntos de datos (líneas de puntos).....	35
Figura C.7 – Comprobación de la convergencia de los datos para el bin de 190°	35
Figura C.8 – Exponente de cortadura del viento vs. hora del día, ejemplo B.....	35
Figura C.9 – Exponentes de cortadura del viento en la ubicación del aerogenerador vs. mástil meteorológico de referencia, ejemplo B	35
Figura C.10 – Regresión lineal de la velocidad del viento a altura del buje en la ubicación del aerogenerador vs. La velocidad del viento en el mástil meteorológico de referencia para el bin de 330°	35
Figura C.11 – Ratios de velocidad del viento vs. velocidad del viento para el bin de 330°	35
Figura C.12 – Ratios de velocidad el viento vs. cortadura del viento para el bin de 330°.....	35
Figura C.13 – Exponentes de cortadura del viento en la posición del aerogenerador vs. mástil meteorológico de referencia, pos-filtrado	35

Figura C.14 – Regresión lineal de la velocidad del viento a la altura del buje en la posición del aerogenerador vs. mástil meteorológico de referencia para el bin 330°, pos-filtradas.....	35
Figura C.15 – Ratios de la velocidad del viento vs. velocidad del viento para el bin 330°, pos filtrado.....	35
Figura C.16 – Comprobación de la convergencia de los datos para el bin 330°	35
Figura C.17 – Cortadura del viento en la calibración del emplazamiento vs. cortadura del viento en el ensayo de curva de potencia.....	35
Figura C.18 – Comprobación de la convergencia para el bin 270°.....	35
Figura F.1 – Definición del volumen para el ensayo de uniformidad del flujo – El volumen se extenderá también $1,5 \times b$ en profundidad (a lo largo del flujo)	35
Figura G.1 – Ejemplo de anemómetro montado en extremo superior y requisitos de montaje.....	35
Figura G.2 – Ejemplo de montaje alternativo en extremo superior de anemómetros primario y de control montados lado a lado con la veleta y otros instrumentos sobre el tubo soporte	35
Figura G.3 – Grafica de iso-velocidad de la velocidad local del flujo alrededor de un mástil meteorológico cilíndrico.....	35
Figura G.4 – Velocidad relativa del viento en el eje central, como función de la distancia R_d desde el centro de un mástil meteorológico tubular y el diámetro del mástil meteorológico d	35
Figura G.5 – Representación de un mástil meteorológico de celosía de tres patas.....	35
Figura G.6 – Gráfico de iso-velocidad de la velocidad del flujo local alrededor de un mástil meteorológico de celosía triangular con un C_T de 0,5	35
Figura G.7 – Velocidad relativa del viento en el eje central como función de la distancia R_d desde el centro de un mástil meteorológico de celosía triangular con distancia de pata L_m , para varios valores de C_T	35
Figura G.8 – Distorsión del flujo obtenida por CFD-3D para dos direcciones de viento, alrededor de un mástil meteorológico de celosía triangular ($C_T = 0,27$) – Para la dirección del flujo véase la flecha roja de la esquina izquierda de cada figura	35
Figura H.1 – Definición de altura del buje y ubicación del mástil meteorológico para aerogeneradores de eje vertical.....	35
Figura J.1 – Respuesta angular en cabeceo $V_\alpha/V_{\alpha=0}$ de un anemómetro de cazoletas en función del ángulo del flujo α comparada con la respuesta coseno.....	35
Figura J.2 – Medidas de par en túnel de viento $Q_A - Q_F$ en función de la velocidad angular ω de un rotor de anemómetro de cazoletas a 8 m/s	35
Figura J.3 – Ejemplo de par de fricción en rodamientos Q_F en función de la temperatura para un rango de velocidades angulares ω	35
Figura J.4 – Ejemplo de coeficiente de par del rotor C_{QA} en función de la relación de velocidades λ obtenida de respuestas escalonadas con K_{low} igual a -5,5 y K_{high} igual a -6,5	35
Figura J.5 – Desviaciones de clasificación de un ejemplo de anemómetro de cazoletas, mostrando una clase 1,69A (gráfico superior) y una clase 6,56B (gráfico inferior).....	35
Figura J.6 – Desviaciones de clasificación de un ejemplo de anemómetro de cazoletas, mostrando una clase 8,01C (gráfico superior) y una clase 9,94D (gráfico inferior).....	35
Figura K.1 – Ejemplo con mástil meteorológico de celosía triangular.....	35

Figura K.2 – Ejemplo con mástil meteorológico tubular	35
Figura L.1 – Desviación vs ángulo de flujo ascendente, determinado para un dispositivo de sensor remoto con respecto al anemómetro de cazoletas de la figura J.1.....	35
Figura L.2 – Ejemplo de análisis de sensibilidad en función de la cortadura del viento.....	35
Figura L.3 – Ejemplo de cortadura del viento versus intensidad de turbulencia	35
Figura L.4 – Ejemplo de desviación porcentual entre las medidas del dispositivo de sensor remoto y las del sensor de referencia versus la intensidad de turbulencia	35
Figura L.5 – Comparación de las medias diezminutales de la componente horizontal de la velocidad del viento medida por un dispositivo de sensor remoto y por un anemómetro de cazoletas	35
Figura L.6 – Comparación por bin de la componente horizontal de la velocidad del viento medida por un dispositivo de sensor remoto y por un anemómetro de cazoletas	35
Figura L.7 – Ejemplo de rango permitido de ubicaciones del volumen de medida.....	35
Figura M.1 – Proceso para la obtención de una curva de potencia para una intensidad de turbulencia específica ($I_{\text{reference}}$).....	35
Figura M.2 – Proceso para la obtención de los parámetros de la curva de potencia inicial de turbulencia cero a partir de los datos medidos.....	35
Figura M.3 – Primera aproximación para la curva de potencia inicial de turbulencia cero.....	35
Figura M.4 – Proceso para obtención de la curva de potencia de turbulencia cero a partir de los datos medidos.....	35
Figura M.5 – Curva de potencia inicial de turbulencia cero ajustada (verde) comparada con la primera aproximación (rojo)	35
Figura M.6 – Proceso para la obtención de la curva de potencia de turbulencia cero final a partir de los datos medidos	35
Figura M.7 – Curva de potencia de turbulencia cero inicial ajustada (verde) comparada con la curva de potencia de turbulencia cero final (negro)	35
Figura N.1 – Ejemplo de montaje para calibración de un sensor de dirección del viento en un túnel de viento.....	35
Figura Q.1 – Perfiles de viento medidos con ayuda de un dispositivo LIDAR sobre un terreno llano.....	35
Figura S.1 – Ejemplo de distorsión de flujo en el mástil.....	35
Figura S.2 – residuos de la distorsión del flujo en función de la dirección.....	35
Tabla 1 – Visión de conjunto de las configuraciones de medida del viento para las medidas de curva de potencia que cumplen los requisitos de esta norma	23
Tabla 2 – Configuraciones de medida de la velocidad (X indica configuración permitida).....	27
Tabla 3 – Ejemplo de cálculo de REWS.....	35
Tabla 4 – Ejemplo de presentación de una curva de potencia medida	35
Tabla 5 – Ejemplo de presentación de producción anual de energía estimada.....	35
Tabla A.1 – Requisitos de los obstáculos: relevancia de los obstáculos	35

Tabla B.1 – Requisitos del área de ensayo: variaciones topográficas	35
Tabla C.1 – Correcciones del flujo en la calibración del emplazamiento (ratio de velocidades de viento)	35
Tabla C.2 – Conteo de datos en la calibración del emplazamiento	35
Tabla C.3 – valores r^2 para cada bin de dirección de viento	35
Tabla C.4 – Incertidumbre adicional debida a la variación en los bins	35
Tabla C.5 – Incertidumbre adicional debido al cambio en los bins	35
Tabla D.1 – Listado de las componentes de la incertidumbre	35
Tabla E.1 – Incertidumbres expandidas.....	35
Tabla E.2 – Lista de las incertidumbres categoría A y categoría B	35
Tabla E.3 – Ejemplo de las incertidumbres estándar debidas a la ausencia de medidas de la cortadura del viento	35
Tabla E.4 – Ejemplos de incertidumbres estándar debidas a la ausencia de mediciones de la cortadura direccional del viento.....	35
Tabla E.5 – Contribuciones a la incertidumbre debida a la falta de conocimiento sobre el flujo ascendente.....	35
Tabla E.6 – Contribuciones a la incertidumbre debidas a la falta de conocimiento de la turbulencia	35
Tabla E.7 – Suposiciones sugeridas para las correlaciones de las incertidumbres de medida entre diferentes alturas de medida)	35
Tabla E.8 – Hipótesis de correlación sugeridas para las incertidumbres de medida de la dirección del viento a diferentes alturas de medida	35
Tabla E.9 – Incertidumbres de la normalización por densidad del aire	35
Tabla E.10 – Factores de sensibilidad	35
Tabla E.11 – Incertidumbres categoría B.....	35
Tabla F.1 – Ejemplo de evaluación de la incertidumbre de calibración del anemómetro.....	35
Tabla G.1 – Método de estimación del C_T para varios tipos de mástiles de celosía	35
Tabla H.1 – Reglajes de tensión del banco de baterías	35
Tabla I.1 – Rangos de los parámetros de influencia (promedios diezminutales) de las clases A, B, C, D y S	35
Tabla J.1 – Respuesta al ángulo de inclinación del ejemplo de anemómetro de cazoletas	35
Tabla J.2 – Coeficientes de fricción del ejemplo de anemómetro de cazoletas	35
Tabla J.3 – Datos varios relacionados con la clasificación del ejemplo de anemómetro de cazoletas	35
Tabla L.1 – Ejemplo de anchura del bin para una lista de variables medioambientales	35
Tabla L.2 – Parámetros obtenidos de un análisis de sensibilidad de un dispositivo de sensor remoto.....	35
Tabla L.3 – Rangos de parámetros medioambientales para el análisis de sensibilidad	35
Tabla L.4 – Ejemplo de selección de variables medioambientales que se ha encontrado que tienen una influencia significativa	35
Tabla L.5 – Parámetros del análisis de sensibilidad que quedan después del análisis de interdependencia de las variables.....	35
Tabla L.6 – Ejemplo de esquema para calcular la máxima influencia de las variables medioambientales.....	35

Tabla L.7 – Clases de precisión preliminares de un dispositivo de sensor remoto considerando todas las variables de influencia y solamente las variables de influencia más significativas.....	35
Tabla L.8 – Ejemplo de clases de precisión finales de un dispositivo de sensor remoto.....	35
Tabla L.9 – Ejemplo de cálculos de la incertidumbre resultante de la calibración de un dispositivo de sensor remoto (RSD) en términos de incertidumbres sistemáticas.....	35
Tabla N.1 – Contribuciones a la incertidumbre en la calibración de sensores de dirección del viento	35
Tabla N.2 – Contribuciones a la incertidumbre e incertidumbre estándar total en la calibración de sensores de dirección del viento	35
Tabla R.1 – Lista de las componentes de incertidumbre correlacionadas	35

1 Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la serie de normas Norma IEC 61400 especifica un procedimiento para medir las características de rendimiento de potencia de una turbina aislada y se aplica al ensayo de aerogeneradores de todo tipo y tamaño conectados a la red eléctrica. Además, esta norma describe un procedimiento utilizado para determinar las características de rendimiento de potencia de pequeños aerogeneradores (definidos en la Norma IEC 61400-2) cuando se conectan a la red eléctrica o a un banco de baterías. El procedimiento puede usarse para evaluación de rendimiento de potencia de aerogeneradores específicos en emplazamientos específicos, pero igualmente la metodología puede usarse para hacer comparaciones genéricas entre diferentes modelos de aerogeneradores o diferentes configuraciones cuando se tienen en cuenta unas condiciones específicas del emplazamiento y las influencias del filtrado de datos.

Las características de rendimiento de potencia de los aerogeneradores se determinan por la potencia medida y la producción anual estimada de energía (*AEP*). La curva de potencia medida, definida como la relación entre la velocidad del viento y la potencia del aerogenerador, se determina recogiendo mediciones simultáneas de las variables meteorológicas (fundamentalmente la velocidad del viento), así como las señales de la turbina eólica (fundamentalmente la potencia de salida) en el emplazamiento de ensayo durante un período suficientemente largo para establecer una base de datos estadísticamente significativa en un rango de velocidades de viento y bajo variadas condiciones atmosféricas y de viento. La *AEP* se calcula aplicando la curva de potencia a distribuciones de frecuencia de velocidad del viento de referencia, suponiendo una disponibilidad del 100%.

La norma describe una metodología de medida que requiere que los valores de la curva de potencia medida y la producción de energía derivada sean suplementadas por una evaluación de las fuentes de incertidumbre y sus efectos combinados.

2 Normas para consulta

En el texto se hace referencia a los siguientes documentos de manera que parte o la totalidad de su contenido constituyen requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición (incluida cualquier modificación de esta).

IEC 60688:2012, *Transductores de medida eléctrica para convertir las magnitudes eléctricas de corriente alterna o continua en señales analógicas o digitales.*

IEC 61400-12-2:2013, *Aerogeneradores. Parte 12-2: Curva de potencia de aerogeneradores productores de electricidad basados en la anemometría de la cubierta.*

IEC 61869-1:2007, *Transformadores de medida. Parte 1: Requisitos generales.*

IEC 61869-2:2012, *Transformadores de medida. Parte 2: Requisitos adicionales para los transformadores de intensidad.*

IEC 61869-3:2011, *Transformadores de medida. Parte 3: Requisitos adicionales para los transformadores de tensión inductivos.*

Guía ISO/IEC 98-3:2008, *Incertidumbre de medida. Parte 3: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM:1995).*

ISO/IEC 17025:2005, *Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.*

ISO/IEC 17043:2010, *Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud.*

ISO 2533:1975, *Standard atmosphere.*

ISO 3966:2008, *Measurement of fluid flow in closed conduits. Velocity area method using Pitot static tubes.*