

Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales

Wind Turbines: Operation and safety framework
Aérogénérateurs: Opération et cadre réglementaire pour la prévention des risques professionnels

Redactores:

Pablo Cobreiro Rodríguez
Ingeniero Técnico Industrial

E.R.O.M. (ACCIONA)

Nuria Jiménez Simón
Licenciada en Farmacia

*CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO*

Esta Nota Técnica de Prevención (NTP) es la primera de una serie que pretende profundizar en el estudio de las condiciones de trabajo de los trabajadores que realizan las tareas de mantenimiento de los aerogeneradores o turbinas. La energía eólica, una forma de energía renovable, es respetuosa con el medio ambiente pero no está exenta de riesgos laborales en su actividad. El objetivo del presente documento es describir el funcionamiento y las partes más importantes de un aerogenerador y el marco normativo de prevención de riesgos laborales que le es de aplicación.

En esta NTP no se tratan los riesgos específicos relacionados con las turbinas instaladas en el mar "off shore" (o en cualquier medio acuático), ni los correspondientes a las turbinas de eje vertical. Tampoco se tratan los riesgos específicos de tareas de mantenimiento excepcionales y ocasionales como las que se realizan en las reparaciones de grandes componentes (góndola, torre, rotor y palas, corona, multiplicadora, generador, transformador o eje principal) y aquellas intervenciones que precisen de la aportación de medios auxiliares de elevación y transporte y/o de medios humanos fuera de los habitualmente presentes en el parque eólico.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque la energía eólica era utilizada desde la antigüedad, no es hasta los años 80 que se instala el primer aerogenerador en Europa. A partir de entonces se inicia y desarrolla una tecnología encaminada al aprovechamiento de la energía del viento para la producción de electricidad. A partir de aquí y, sobre todo, a partir del impulso que se le dio a las energías renovables durante el periodo del 2000 al 2007 se produce la instalación masiva de nuevas turbinas.

Según datos facilitados por empresas del sector, los accidentes menos frecuentes pero cuyas posibles consecuencias son de mayor gravedad son los originados por la energía eléctrica; la caída de altura; la caída de objetos y de equipos en diferentes niveles de trabajo, los atrapamientos, los golpes y los cortes con elementos móviles (rotor y generador). Sin embargo el mayor porcentaje de accidentes (casi el 50%) son los derivados de sobreesfuerzos y posturas forzadas debido a las dimensiones reducidas de los espacios de trabajo. Otro porcentaje importante lo constituyen los accidentes de circulación en los desplazamientos por los parques eólicos.

Los cambios en las turbinas en los últimos años han ido encaminados principalmente a las mejoras en el diseño y en los materiales que las componen, para lograr un mayor aprovechamiento aerodinámico y eficiencia. Pero además de los deseables avances tecnológicos, los nuevos diseños deberían aportar también las correspondientes mejoras en las condiciones de trabajo.

2. FUNCIONAMIENTO Y PARTES PRINCIPALES DE UN AEROGENERADOR

Consideraremos separadamente el funcionamiento del aerogenerador y las distintas partes que lo componen.

Funcionamiento

Las turbinas eólicas o aerogeneradores son máquinas que se emplean para transformar la energía del viento en energía eléctrica. Se clasifican, en función de la orientación de las palas, en las de eje horizontal y de eje vertical. Los aerogeneradores más eficientes y utilizados en la actualidad son los de eje horizontal, y son objeto de estudio en la presente Nota Técnica de Prevención.

Los tres componentes principales para la conversión de la energía del viento en las turbinas eólicas son: el rotor o sistema de captación de viento, la caja de engranajes o multiplicadora y el generador eléctrico.

En la figura 1 se sintetiza el esquema de funcionamiento de un aerogenerador de eje horizontal. La turbina comienza a funcionar cuando el anemómetro (situado en su parte superior) detecta una velocidad de viento suficiente para producir electricidad. Los sistemas de giro colocan al aerogenerador en la dirección del viento y liberan los mecanismos de freno para que se produzca el movimiento libre del rotor. El umbral de producción de una turbina está comprendido entre 3 m/s y 25 m/s de velocidad de viento, mientras que con valores superiores o inferiores la turbina se detiene. Es importante conocer la velocidad

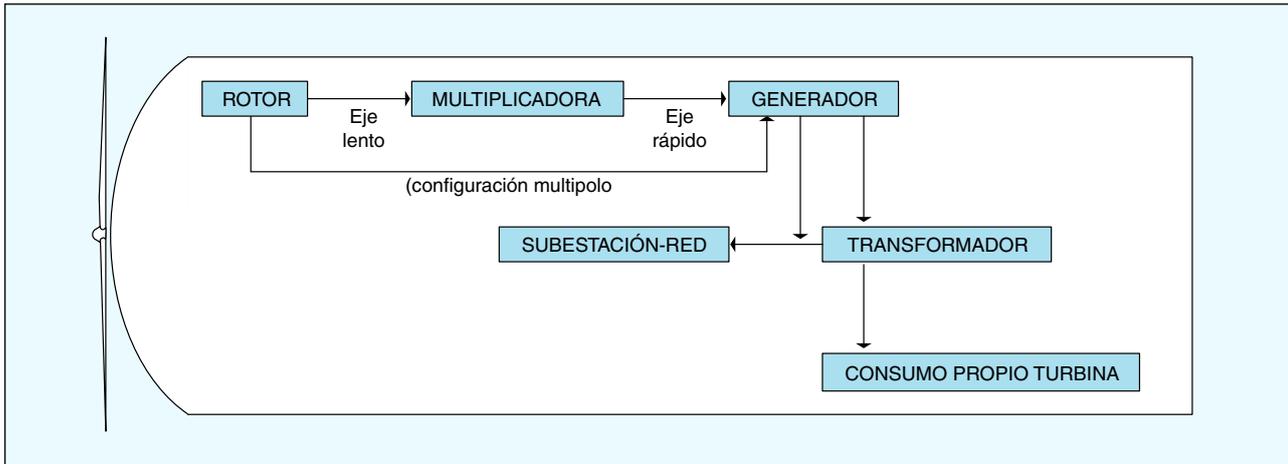


Figura 1. Esquema de funcionamiento del aerogenerador

del viento para establecer los límites por encima de los cuales podría ser peligroso trabajar en ellas.

El rotor (formado principalmente por las palas y el buje) convierte la energía cinética del viento en energía mecánica que se transmite al eje lento. Dicho eje conecta el buje a la multiplicadora (también denominada caja multiplicadora o caja de engranajes), elemento que existe en la mayoría de modelos. Por el interior del eje discurren conductos del sistema hidráulico y eléctrico (aerofrenos) que regulan el movimiento de las palas. La función de la multiplicadora es conseguir que el eje de salida (eje rápido) gire a mayor velocidad que el de entrada, y así conseguir una velocidad de giro de 50 a 80 veces mayor.

A la salida del eje rápido la energía mecánica se transforma en eléctrica (de baja o alta tensión) en el generador. Desde éste, la energía se distribuye mediante conductores eléctricos específicos hacia la base de la torre donde generalmente se encuentra el transformador interno que transforma la energía de baja tensión (generalmente 690 V) en alta tensión (20.000 o 30.000 V) y así se envía a la red para consumo.

La configuración citada anteriormente es la más frecuente, aunque también existen modelos de turbinas eólicas que no poseen multiplicadora y están formadas por dos fases, la de captación de viento por un lado y el generador multipolo por otro (así la velocidad de giro del eje de la máquina eléctrica es igual a la velocidad de rotación del rotor eólico).

Partes principales del aerogenerador

Los aerogeneradores se diseñan a diferentes alturas dependiendo del régimen de viento del emplazamiento en el que están situados, de la potencia de la turbina, del diámetro de barrido de las palas, etc. En la actualidad pueden encontrarse turbinas que superan los 100 m de altura. En el esquema de la figura 2 se pueden ver las partes principales de los aerogeneradores.

Base

En la parte inferior (base o *ground*), que se observa en la figura 3, se suelen ubicar los armarios de baja tensión y las celdas de maniobra de alta tensión. A veces estos armarios eléctricos se sitúan en el exterior del aerogenerador en instalaciones prefabricadas. En algunas máquinas, desde el suelo de la base se accede al foso, que es un habitáculo de difícil acceso donde se sitúan los



Figura 2. Partes del aerogenerador o turbina eólica.

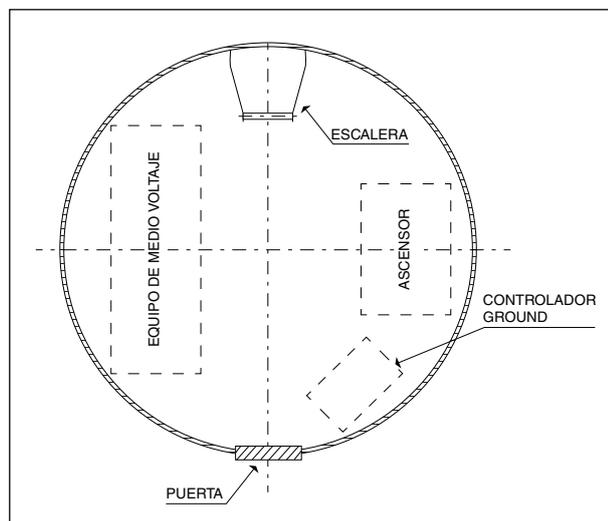


Figura 3. Base o Ground.

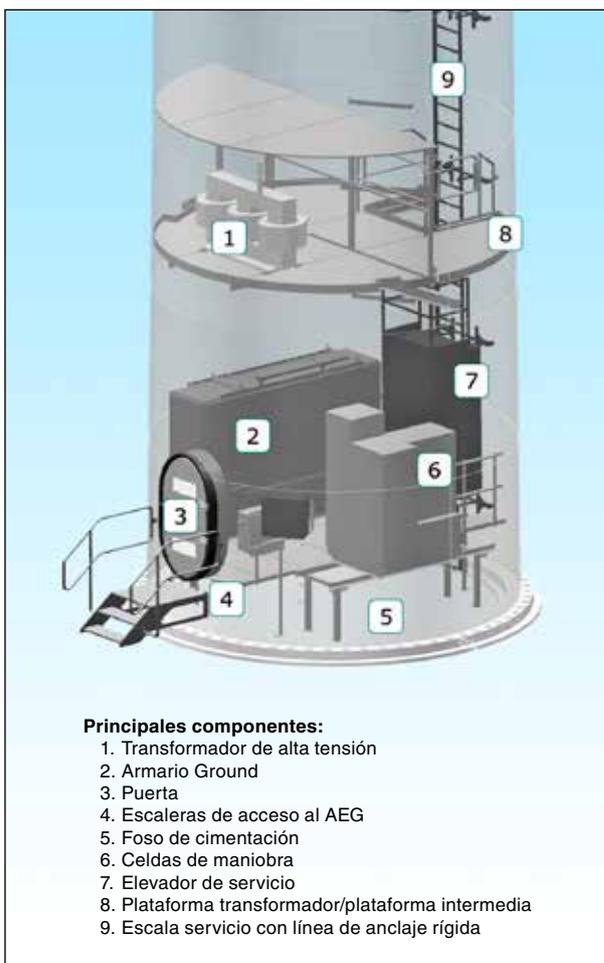
conductores de alta tensión que transportan la corriente hacia la subestación.

Torre

Sobre la base se levanta un tubo o torre, generalmente metálico, aunque puede ser de hormigón o celosía. Algunas turbinas cuentan con un elevador de servicio para el transporte de trabajadores a las diferentes alturas de trabajo y unas escalas para el ascenso a pie. Paralelamente a esta escala se dispone de una línea de anclaje rígida donde se conecta el sistema anticaída, que debe cumplir con la normativa de comercialización de equipos de protección individual¹ y con la normativa de utilización de dichos equipos².

En ocasiones, los elevadores y la escala coinciden en el mismo hueco por lo que el elevador es el medio de ascenso preferente y la escala únicamente se utiliza ante determinadas situaciones de emergencia y fallos de suministro eléctrico en la turbina.

En la torre (recorrido entre la base y la góndola) detallada en la *figura 4*, se suele ubicar el transformador, si bien pueden existir turbinas en las que éste se encuentra en el interior de la góndola (frecuentemente se utiliza el



- Principales componentes:**
1. Transformador de alta tensión
 2. Armario Ground
 3. Puerta
 4. Escaleras de acceso al AEG
 5. Foso de cimentación
 6. Celdas de maniobra
 7. Elevador de servicio
 8. Plataforma transformador/plataforma intermedia
 9. Escala servicio con línea de anclaje rígida

Figura 4. Elementos principales de la torre.

término francés “nacelle” para referirse a la góndola) o en el exterior del aerogenerador.

Las tensiones habituales de generación en baja tensión suelen ser 690 V, elevándose en el transformador hasta 20.000 V o 30.000 V. En algunas máquinas, sin embargo, la tensión de salida del generador es de 12.000 V, no necesitando un transformador para elevar la tensión para el transporte si la subestación eléctrica está cercana.

La torre está dividida por diferentes plataformas intermedias, donde se encuentran los puntos de unión de los diferentes segmentos del tubo.

Góndola

Una vez en la parte superior, se accede a la góndola (ver figura 5) donde están los elementos principales para el funcionamiento de la turbina, y donde se realizan la mayoría de las tareas de mantenimiento. Se describen a continuación los elementos principales que forman parte de la góndola:

- **Multiplicadora:** la multiplicadora es un elemento accesorio formado por un sistema de engranajes que transforman la energía de baja velocidad, proveniente del viento, en alta velocidad que llega al generador. El eje rápido está dotado de un freno de disco que se pone en marcha en labores de mantenimiento, como parte del bloqueo del rotor. Algunas máquinas carecen de multiplicadora y el freno de disco actúa sobre el eje principal (multipolo). Junto a la multiplicadora se dispone generalmente de un sistema de lubricación y refrigeración independiente.
- **Generador:** transforma la energía cinética de rotación procedente de la multiplicadora en energía eléctrica. Consta de rotor y estator. El generador produce generalmente energía de baja tensión, entre 480 V y 690 V dependiendo del modelo, si bien en algunas máquinas la energía eléctrica generada es de alta tensión.

Rotor

En la parte delantera de la góndola se encuentra el rotor del aerogenerador. El conjunto del rotor está formado por los siguientes elementos:

- **Las palas:** rotan generalmente en el sentido de las agujas del reloj. Están unidas al rodamiento del buje mediante una corona de pernos que permite el giro longitudinal del eje de la misma. Según el tipo o anclaje se clasifican en:
 - de paso fijo: no admiten rotación de la pala sobre su eje.
 - de paso variable: admiten la rotación controlada sobre su eje.
- **El buje:** transmite la energía captada por las palas a la multiplicadora (a través de un eje principal llamado eje lento). Es un elemento hueco donde se alojan los elementos del sistema *pitch* (sistema de regulación de control de movimiento de rotación sobre su eje de las palas). Generalmente, los trabajadores de mantenimiento acceden a su interior a través de una puerta alojada en la góndola o desde el exterior de la misma por la zona superior de la góndola. En ocasiones, se accede al espacio del buje y de aquí a las palas para realizar diferentes tareas de mantenimiento.

El cono de la turbina protege al buje ante las inclemencias meteorológicas.

Atornillado en el interior de la torre está el sistema de orientación o sistema *yaw* que mantiene el rotor orientado en la dirección del viento y que controla el enrollamiento

1. Real Decreto 1407/1992 de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
 2. Real Decreto Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

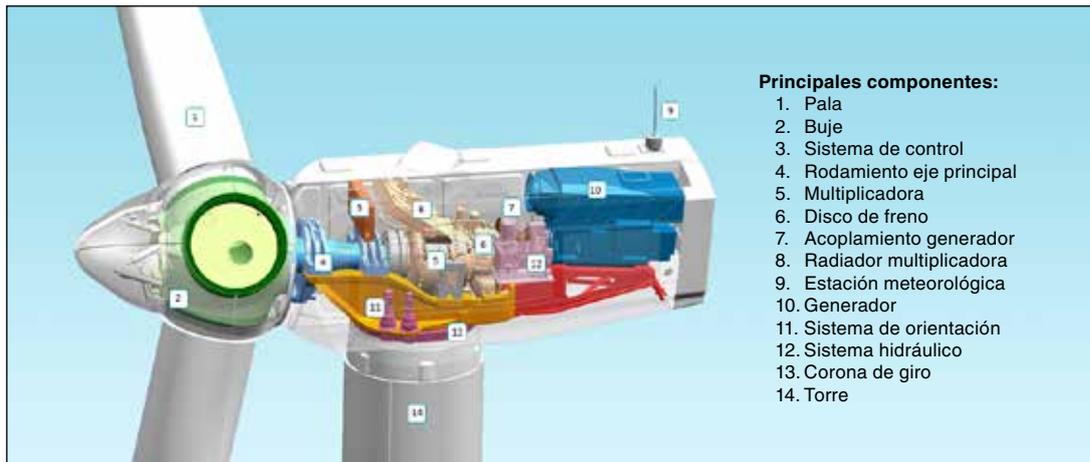


Figura 5. Elementos principales de la góndola.



Figura 6. Bloqueo de eje rápido.

de los cables en la torre. Otros sistemas presentes en la góndola, que son objeto así mismo de revisiones específicas, son el grupo hidráulico y el sistema de freno.

El grupo hidráulico controla el ángulo de las palas en su funcionamiento normal y lleva las palas a la posición de seguridad en caso de fallo eléctrico o falta de presión, activando el freno de disco del eje rápido en los aerogeneradores que no tienen freno eléctrico. Dicho grupo consta de un conjunto de cilindros que contienen un gas inerte a presión, generalmente nitrógeno (N_2), y de una serie de conductos a presión que contienen en su interior fluido hidráulico. Aspectos que deben tenerse en cuenta en la evaluación específica de los riesgos.

El sistema de freno del aerogenerador dispone de dos tipos de freno: uno aerodinámico que forman las palas en la posición de bandera en máquinas de paso variable o abren el aerofreno en las de paso fijo y otro de disco que actúa sobre el eje rápido de la multiplicadora (y que se pondría en funcionamiento para el acceso al buje).

El sistema de freno no es suficiente para acceder al interior del buje y de las palas de forma segura, por lo que, para realizar tal operación, se debe accionar el sistema de bloqueo. El rotor no está bloqueado de forma fija nunca, excepto cuando se bloquea para efectuar labores de mantenimiento, es decir, puede rotar libremente a una velocidad reducida. Generalmente, hay dos sistemas de bloqueo del rotor, dependiendo del modelo de aerogenerador:

- Sistema de bloqueo del eje lento: consiste en insertar uno o varios bulones de forma manual en orificios específicos situados en el rotor, bloqueando de esta manera el movimiento del rotor con la góndola.
- Sistema de bloqueo del eje rápido: consiste en insertar uno o varios bulones de forma manual en orificios específicos del disco de freno (componente del eje). En la figura 6 se detalla un ejemplo de bloqueo de eje rápido. En algunos modelos de turbina se pueden accionar uno o ambos sistemas de bloqueo a la vez.

3. LOS AEROGENERADORES EN EL MARCO NORMATIVO DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Distinguiremos entre los aspectos legales y el marco técnico en el que se inscriben los aerogeneradores.

Marco legal

Un aerogenerador es un equipo de trabajo, según se indica en el Real Decreto 1215/1997, del 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo, que lo define como: cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo. Esto implica el cumplimiento de las disposiciones que le sean de aplicación de la citada normativa.

Como equipo de trabajo debe **ser seguro para el uso previsto**, es decir, se deben eliminar o reducir los riesgos al mínimo tanto de las turbinas eólicas como de otros equipos utilizados en ellas (elevador de servicio, transformador, generador, etc.) y se debe garantizar que los aerogeneradores cumplen con la normativa de comercialización y puesta en servicio de máquinas en la UE. Concretamente el Real Decreto 1644/2008³, de 10 de octubre, por el que se establece las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas para equipos de trabajo puestos en el mercado a partir de diciembre de 2009. La normativa de comercialización obliga a los fabricantes, entre otros aspectos, a que las máquinas dispongan de marcado CE, declaración de

3. Para otros equipos anteriores se puede consultar la disposición de aplicación en el Apéndice A de la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo.

conformidad, manual de instrucciones y a que cumplan unos requisitos esenciales de seguridad y salud en su diseño y fabricación.

Una vez instalados y en funcionamiento en el parque eólico, el punto de partida imprescindible para dictaminar las condiciones de uso de un aerogenerador es la realización de una evaluación de riesgos específica (art. 16 LPR⁴ y art. 4 RSP⁵) que proporcione información sobre los riesgos propios de la turbina en función de las prestaciones de la instalación, del entorno o lugar de trabajo donde se ubica el equipo y de las condiciones de explotación y utilización del mismo y que incluya la información aportada por el fabricante en su manual de instrucciones. Debido a las dimensiones reducidas de las turbinas, es clave además conjugar el aspecto ergonómico en el diseño del equipo con la seguridad estructural del mismo, siempre en aras de la mejora de las condiciones de trabajo.

Por otro lado es importante destacar que todo equipo de trabajo debe estar sometido a un mantenimiento. El marco regulador de tal obligación se encuentra en el artículo 3 del Real Decreto 1215/1997 que contempla que *“el empresario adoptará las medidas necesarias para que, mediante un mantenimiento adecuado, los equipos de trabajo se conserven durante todo el tiempo de utilización en unas condiciones tales que satisfagan las disposiciones de la citada normativa. Dicho mantenimiento se realizará teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante o, en su defecto, las características de estos equipos, sus condiciones de utilización y cualquier otra circunstancia anormal o excepcional que pueda influir en su deterioro o desajuste”*. El requisito anterior se traduce pues en la necesidad de garantizar que las prestaciones iniciales del equipo en materia de seguridad se mantengan a lo largo de la vida útil del mismo, es decir, que sus características no se degraden hasta el punto de poner a las personas en situaciones peligrosas.

Determinados equipos de trabajo cuya seguridad dependa de sus condiciones de instalación, como por ejemplo los elevadores y el propio aerogenerador, estarán sometidos, además, a una comprobación inicial, tras su instalación y antes de la puesta en marcha por primera vez y a una nueva comprobación después de cada montaje en un nuevo emplazamiento, tal y como se indica en el artículo 4 del Real Decreto 1215/1997. La Guía Técnica que desarrolla el citado real decreto especifica que la instalación y posterior comprobación de determinados equipos antes de su puesta en servicio debería ser realizada como se determina en la reglamentación específica o en la reglamentación de instalación y utilización desarrollada como complemento a la de seguridad industrial.

Especial importancia tienen, para las operaciones de mantenimiento y comprobación en las turbinas eólicas, las recomendaciones que desarrolla la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo cuando indica que *“es importante que toda operación de mantenimiento, ajuste, desbloqueo, revisión o reparación que pueda suponer un peligro para los trabajadores se realice tras haber parado o desconectado el equipo, comprobado la inexistencia de energías residuales peligrosas y haber tomado medidas para evitar la puesta en marcha o conexión accidental mientras se realiza la operación”*.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que, dado que una turbina o aerogenerador posee instalaciones eléctricas, los riesgos derivados de la electricidad deben tenerse en cuenta específicamente. En este sentido son de aplicación las disposiciones indicadas en el Real Decreto 614/2001 sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, en aquellas instalaciones eléctricas del equipo de trabajo y en las técnicas o procedimientos para trabajar en ellos o en sus proximidades. Se debe identificar, evaluar y adoptar medidas de prevención y protección específicas frente al riesgo ocasionado por la energía eléctrica y sus diferentes efectos (choque eléctrico o electrocución por contacto directo o indirecto; quemaduras por choque eléctrico o por arco eléctrico; caídas o golpes a consecuencia del choque eléctrico, incendios o explosiones originados por la electricidad). En el sector eólico hay antecedentes de accidentes graves tanto personales como en las instalaciones cuyo origen es un arco eléctrico.

Las instalaciones eléctricas del equipo de trabajo y su uso y mantenimiento deberán cumplir además con lo establecido en la reglamentación electrotécnica específica.

Marco técnico. Normas Técnicas

En el campo de la seguridad de las máquinas se han desarrollado un conjunto de normas armonizadas, en las que pueden basarse los fabricantes para el diseño de las turbinas. Por ejemplo, la UNE-EN 50308 Aero-generadores. Medidas de protección. Requisitos de diseño, operación y mantenimiento, detalla los requisitos relativos a la seguridad y salud del personal que trabaja en tareas de puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de las turbinas eólicas de eje horizontal, estableciendo criterios para el diseño inicial de las turbinas eólicas minimizando los riesgos para la salud y la seguridad y compatibilizando este aspecto con su integridad estructural.

La citada norma detalla aspectos tales como el diseño de aberturas de puertas, aberturas de accesos, suelos, plataformas y guarda cuerpos, escalas, puntos de anclaje y asideros, luces, resguardos de partes móviles, etc.

La norma incluye también otros aspectos de seguridad como la necesidad de accesos permanentes para realizar las actividades de inspección y mantenimiento de forma segura y de dotarlas de sistemas específicos para bloquear, desenganchar, liberar o aislar y desconectar cualquier tipo de energía que pueda causar riesgo.

Otra norma que puede ser útil para el diseño de los espacios de trabajo en una turbina como máquina es la UNE-EN 547-1 Seguridad de las máquinas: medidas del cuerpo humano. Parte 1. Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para el paso de todo el cuerpo en las máquinas. Dicha norma define los principios de diseño ergonómico de las aberturas de acceso y de los conductos destinados a permitir el paso del cuerpo humano, y se puede tener en cuenta por ejemplo para establecer las dimensiones mínimas de determinadas aberturas como el buje y para el paso por espacios como las palas.

4. LPR: Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

5. RSP: RD 39/199, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

BIBLIOGRAFÍA

Real Decreto 1215/1997, del 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la utilización de equipos de trabajo.
Edición 2011.

Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establece las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía Técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico.
Edición 2009.

AENOR

UNE-EN 50308:2005. Aerogeneradores. Medidas de protección. Requisitos para diseño, operación y mantenimiento.

Agradecimientos

Imágenes cedidas por Acciona y E.R.O.M (Grupo Acciona)