

Aerogeneradores (III): Medidas de prevención y protección durante el mantenimiento

Wind Turbines: Safety measures in maintenance activities
Aérogénérateurs: Les mesures de sécurité dans les activités de maintenance

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 NTP es la tercera de la serie y describe las principales medidas de prevención y protección de las operaciones de mantenimiento en un aerogenerador de eje horizontal no situado en emplazamientos marinos. No se pretende establecer una lista exhaustiva de todas la medidas, aunque sí las de mayor relevancia. No están incluidas las tareas de mantenimiento de grandes componentes.

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

Un aerogenerador o turbina eólica es un equipo de trabajo, que necesita para su funcionamiento de diferentes equipos de trabajo (como el elevador de personas, los equipos de elevación de cargas, la multiplicadora, el generador, y otros). El punto de partida, tal y como se indica en las anteriores NTP de esta serie, es la evaluación de riesgos específica de la turbina como máquina y de todos los equipos que la componen en general, verificando en dicha evaluación que los riesgos identificados se han eliminado o minimizado mediante la implantación y control de las medidas de seguridad necesarias de tal forma que sean adecuadas al trabajo a realizar, que estén adaptadas al mismo y garanticen la seguridad y salud de los trabajadores de mantenimiento que las utilizan, tal y como se indica en el artículo 3 del Real Decreto 1215/1997.

2. PRINCIPALES MEDIDAS PREVENTIVAS Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Las medidas preventivas y de protección de la turbina deben implementarse por parte del fabricante desde la fase de diseño y fabricación. Así por ejemplo, las máquinas deben estar fabricadas e instaladas de forma que se evite el riesgo de desplome de la máquina; las aberturas y los huecos deben estar correctamente protegidos mediante barandillas; los diferentes equipos (elevador, polipasto y puente grúa, multiplicadora, generador, transformador, etc.) deben contar con los dispositivos de seguridad adecuados; las partes móviles (eje lento, disco de freno, engranajes de la multiplicadora, etc.) deben estar protegidas adecuadamente; las instalaciones eléctricas deben contar con los dispositivos de protección adecuados siguiendo la normativa electrotécnica específica; las plataformas deben estar diseñadas para soportar el peso de los diferentes equipos y de los trabajadores; los espacios de trabajo deben ser ergonómicamente adecuados; el acceso a la góndola o parte superior debería limitarse y en caso de ser

necesario se debe realizar en condiciones de seguridad. El diseño debe permitir realizar las actividades de inspección y mantenimiento de forma segura, y debe poder garantizar que todos los elementos que permiten a los trabajadores realizar las tareas de forma segura estén correctamente mantenidos durante toda la vida útil de la máquina. Además de la normativa legal, los fabricantes pueden basarse en normas técnicas para el diseño de este tipo de máquinas. En el ámbito de las normas europeas de seguridad de máquinas, la norma UNE- EN 50308¹ establece los requisitos de las diferentes medidas de protección recomendadas, durante la puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de las turbinas de eje horizontal. Además pueden tener en cuenta otras normas técnicas como la del diseño de las paradas de emergencia, de los resguardos, y las de dimensiones para el diseño de los espacios mínimos de trabajo que permitan el paso del cuerpo humano, como los de la boca de hombre del buje y palas².

Medidas preventivas de carácter general

En los trabajos de mantenimiento en los aerogeneradores, los accidentes laborales de mayor gravedad son los originados por la energía eléctrica (alta y baja tensión); las caídas de altura, caída de objetos y equipos entre los diferentes niveles de trabajo; atrapamiento, golpes y cortes con elementos móviles (rotor, acoplamiento, generador, etc.). Algunas operaciones de mantenimiento requieren acceder a espacios de dimensiones reducidas que podrían considerarse como espacios confinados (como el buje y las palas), que deben ser evaluados específicamente con el fin de proponer medidas de prevención y protección, procedimientos de trabajo seguros y formación específica.

1. UNE-EN 50308. Aerogeneradores. Medidas de protección. Requisitos para diseño, operación y mantenimiento.
2. 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.
UNE-EN 547-3. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 3: Datos antropométricos.

Las principales medidas preventivas a tener en cuenta para los riesgos que se repiten en diferentes zonas de la turbina son:

- **Contacto eléctrico:** realizar una evaluación específica, que incluya entre otros el riesgo derivado de arco eléctrico. En las tareas de mantenimiento eléctrico debe tenerse en cuenta el cumplimiento de lo indicado en el Real Decreto 614/2001³ en cuanto a trabajos sin tensión, con tensión, maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones, y trabajos en proximidad a instalaciones eléctricas. Las instalaciones eléctricas deben cumplir con la normativa electrotécnica específica y se someterán a revisiones periódicas. Se deben utilizar equipos y materiales adecuados que aseguren la protección frente a riesgo eléctrico (como pértiga, banqueta, etc.) así como los EPI adecuados.
- **Atrapamiento:** en la turbina existen diferentes zonas en las que puede existir riesgo de atrapamiento con los elementos móviles, como por ejemplo en: el elevador; el sistema de orientación; la plataforma de la corona; los equipos de elevación de cargas (polipasto o puente grúa); el buje y palas; el eje lento; los engranajes de la multiplicadora; el disco o pinzas de freno; el sistema de regulación de paso variable y el generador. Se debería realizar un inventario de las zonas, operaciones y equipos de la turbina donde exista dicho riesgo y proponer soluciones específicas. En términos generales, los elementos móviles deben ir equipados con resguardos o dispositivos que impidan el acceso a zonas peligrosas o que detengan las maniobras de forma segura antes del acceso a las mismas. Los resguardos serán sólidos y resistentes y no ocasionarán riesgos suplementarios, y no será fácil su anulación. Se colocarán a una distancia suficiente de la zona peligrosa para que no se puedan alcanzar los órganos de transmisión en movimiento⁴.
- **Posturas forzadas y sobreesfuerzos:** además de establecer medidas de prevención en la fase de diseño previo de la máquina debería realizarse un estudio ergonómico específico para cada tipo de máquina del que se deriven soluciones prácticas para la prevención de los riesgos en las diferentes tareas (formación, programa de entrenamiento y ejercicios previos, técnicas de manipulación manual de cargas, medidas organizativas, etc.).
- **Incendio:** en el diseño del aerogenerador es recomendable utilizar materiales ignífugos en las zonas de la máquina con alto riesgo de incendio. Además, la instalación eléctrica deberá cumplir la normativa electrotécnica específica. En la utilización de la máquina, deberían establecerse medidas de prevención frente al riesgo de incendio de diferente origen (principalmente origen eléctrico y mecánico) como por ejemplo utilizar herramientas que no generen chispa, uso de mantas ignífugas en determinadas operaciones como la soldadura, establecer la prohibición de fumar, no utilizar las turbinas para almacenar materias inflamables, etc. Las máquinas deben proveerse además de medios de extinción adecuados como extintores manuales específicos para el tipo de fuego, detectores de incendios, medios de extinción automática que sean eficaces y seguros para los trabajadores, etc. Es fundamental la formación y el adiestramiento específico sobre la actuación en situa-

ciones de emergencia y la coordinación con los equipos de emergencia externos.

- **Desplome:** la máquina debe contar con los dispositivos de seguridad adecuados que garanticen su seguridad estructural. En las diferentes plataformas no debe superarse el peso máximo indicado por el fabricante y deben realizarse inspecciones periódicas del estado de la sujeción de las diferentes plataformas y otros elementos a la estructura, así como la revisión y control de fisuras y grietas en la fibra del equipo.

Medidas preventivas específicas frente al riesgo de caída de altura

La mayoría de operaciones de mantenimiento se realizan en la góndola, ubicada en muchos casos a más de 50 m de altura. El trabajador accede mediante el elevador a las diferentes plataformas intermedias de la máquina y, en las máquinas que no disponen de elevador o en las zonas donde éste finaliza su recorrido, mediante una escala.

Los diferentes puntos de riesgo en la turbina están ubicados en los siguientes puntos de la turbina:

- El recorrido por la torre, a lo largo de la escala.
- El acceso a las diferentes plataformas intermedias desde la escala.
- Las diferentes aberturas o huecos en el interior de las plataformas (góndola, plataforma de corona, etc.)
- La zona próxima a la salida de evacuación en la góndola.
- El acceso al buje y a las palas.
- Las maniobras de elevación de las herramientas mediante el uso de polipasto, puente grúa o poleas manuales
- La zona exterior de la góndola, en la verificación del anemómetro, la veleta, etc.

Protección colectiva

Se deben priorizar medidas técnicas de protección colectiva, como por ejemplo la instalación de barandillas, trampillas de cierre de huecos en el interior de la torre o en la propia góndola. La norma técnica UNE-EN 50308 detalla, en este sentido, los requisitos de seguridad para el diseño de suelos, plataformas, lugares de trabajo y permanencia así como en las instalaciones de ascenso (escaleras, escalas, apoyos de pie, asideros, puntos de anclaje).

Los elementos de la protección colectiva, deben ser sometidos a un mantenimiento periódico preventivo, para asegurar su correcto estado.

En los puntos donde no sea posible o suficiente la protección colectiva se asegurará al trabajador mediante equipos de protección individual (EPI).

Equipos de protección individual

En las turbinas, además de los EPI frente a otro tipo de riesgos (como el riesgo eléctrico, el de golpes, el de exposición a productos químicos, etc.), se debe dotar a los trabajadores de EPI contra el riesgo de caída de altura en aquellos puntos o zonas peligrosas donde la protección colectiva no sea suficiente. En la figura 1 se ve un operario equipado con el EPI contra caída de altura.

En la torre de la mayoría de turbinas está instalada una línea de anclaje, que forma parte del sistema anticaída y a la que se conecta el dispositivo anticaída deslizante (en adelante DAD) que se utiliza cuando no se asciende por el elevador o en las zonas donde éste finaliza su recorrido. El DAD que lleva el trabajador se conecta a dicha línea de anclaje rígida y debe ser compatible y adecuado ya que

3. 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.

4. UNE-EN 953 (2009). Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.



Figura 1. Operario equipado con arnés, absorbedor de energía con doble elemento de amarre, dispositivo anticaída deslizante para línea de anclaje rígida, casco de seguridad, botas de seguridad, linterna frontal para zonas de baja iluminación.

forma parte inseparable del mismo. En las zonas donde no llega la línea de anclaje rígida se deben instalar puntos de anclaje a los que conectar el sistema de protección individual contra caídas de altura. El número de puntos de

anclaje⁵ deben ser suficientes. Todos los EPI están sujetos a un doble marco normativo, por un lado deben cumplir con la normativa de comercialización⁶ y deben disponer, entre otros, de marcado CE y folleto informativo, y por otro deben cumplir con la normativa sobre utilización de equipos de protección individual⁷.

Dentro de la selección de los diferentes componentes del sistema de protección individual contra caídas de altura certificados comercializados, debe escogerse el más apropiado en cada caso. En la tabla 1 se detallan los EPI para caídas de altura que se utilizan en las turbinas de eje horizontal. La utilización, el almacenamiento, el mantenimiento, la limpieza, la desinfección cuando proceda y la reparación de los EPI deberán realizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Los trabajadores deberán recibir formación e información específica sobre el uso de los EPI en las diferentes zonas de la turbina, sobre técnicas de descenso ante una posible evacuación mediante el sistema de descenso de emergencia y, en determinadas máquinas, sobre las técnicas de acceso y posicionamiento mediante cuerdas. Sería recomendable que la formación fuese teórica y práctica e incluyese, entre otros, el entrenamiento específico para que el operario tuviese destreza en la colocación del equipo dependiendo del modelo de aerogenerador en el que se encuentre, aseguramiento del mismo, salida por el habitáculo de evacuación y familiarización con la velocidad de descenso controlado del equipo.

5 Las norma UNE EN-795 y la norma UNE-EN 50308 detallan cómo deben ser los puntos de anclaje. Ver comentarios en el "portal sobre E.P.I del INSHT."

6 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.

7 Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización de los trabajadores de equipos de protección individual.

En la estructura de la turbina	Norma	Torre	Góndola	Buje y palas	Capota
Dispositivos de anclaje	UNE-EN 795 tipo A1	x	x	x	x
	UNE-EN 795 tipo D				x
Línea de anclaje rígida	UNE-EN 353-1 ¹	x			
Componentes del sistema anticaída	Norma	Torre	Góndola	Buje y palas	Capota
Arnés anticaída y cinturón anticaída ² .	UNE-EN 361, UNE-EN 358.	x	x	x	x
Absorbedor de energía con doble elemento de amarre	UNE-EN 355, UNE-EN 354	x	x	x	x
Dispositivo anticaída deslizante sobre línea de anclaje rígida	UNE-EN 353-1	x (en ascenso)			
Dispositivos de salvamento ³	UNE-EN 1496, EN 341	x	x	x	x
Dispositivo anticaída retráctil	UNE-EN 360			x	x
Dispositivo de anclaje provisional (banda textil)	UNE-EN 795-B			x	x
Conectores	UNE-EN 362	x	x	x	x

1. Actualmente se exige por parte de industria de unas pruebas adicionales para certificar este equipo por la retirada de presunción de conformidad de la norma por parte de la Comisión Europea con resolución de fecha 19-03-2010.

2. En algunas operaciones de mantenimiento se utiliza el cinturón para la sujeción del trabajador en posición de trabajo y prevención de caídas de altura.

3. En las máquinas donde no se disponga de dispositivo de descenso para salvamento fijo en la góndola el trabajador debe transportarlo por la turbina para poder utilizarlo en caso de evacuación de emergencia.

Tabla 1. Protección individual contra caídas de altura en una turbina

Es conveniente indicar en la base de cada turbina qué dispositivo anticaída deslizante es el adecuado para cada línea, la fecha de revisión, el número máximo de personas que pueden utilizarla simultáneamente, el marcado CE, así como las normas de uso.

Dispositivos de seguridad

A continuación se detallan los principales dispositivos de seguridad, tanto los indicados en la UNE-EN 50308 como otros dispositivos que se instalan actualmente en las turbinas eólicas.

- **Parada de emergencia:** activa un sistema de protección que lleva los movimientos de la máquina a un estado seguro en un breve plazo de tiempo sin crear riesgos adicionales. El rearme únicamente se puede hacer de forma manual según un procedimiento específico. En la mayoría de las turbinas, el accionamiento del paro no implica la desconexión eléctrica de la máquina, que sigue estando energizada en la mayoría de sus circuitos, lo que debe tenerse en cuenta para la realización de las diferentes tareas de mantenimiento.
- **Dispositivos de desconexión de potencia:** desconectan o aíslan la máquina de forma independiente de cada una de las fuentes de potencia (mecánica, eléctrica, hidráulica y neumática) durante la inspección y el mantenimiento. El diseño de este tipo de dispositivos debe ser tal que impidan que durante la reconexión produzcan daños al trabajador.
- **Protección contra sobre-velocidad:** dispositivo que sirve para evitar que las palas del aerogenerador giren a mayor velocidad de la permitida, impidiendo el desplome de la turbina.
- **Desconexión de red:** dispositivo que aísla eléctricamente el aerogenerador de la subestación y detiene los movimientos de la turbina.
- **Bloqueo del rotor:** dispositivo de bloqueo mecánico del eje de baja o alta velocidad para evitar el atrapamiento con los elementos móviles.
- **Bloqueo del pitch:** dispositivo destinado a bloquear el movimiento de las palas, y de esta forma evitar los atrapamientos en la realización de trabajos de mantenimiento en el buje o las palas.
- **Resguardos:** pueden ser fijos o móviles e impiden que el trabajador pueda acceder a las zonas de atrapamiento. Se encuentran en el disco de freno, en el acoplamiento, en el eje de baja velocidad, etc. En las figuras 2, 3 y 4 y 5 se muestra diferentes equipos móviles con o sin resguardo.



Figura 2. Resguardo de protección acoplamiento alta velocidad.



Figura 3. Acoplamiento alta velocidad sin resguardo.



Figura 4. Resguardo de protección eje lento.



Figura 5. Eje lento sin resguardo.

- **Conmutador posición local/remoto:** sistema que evita que se pueda actuar de forma remota en una turbina poniendo en riesgo a los trabajadores de mantenimiento.

3. FORMACIÓN, INFORMACIÓN Y MEDIDAS ORGANIZATIVAS

El trabajo de mantenimiento en una turbina requiere personal especialmente capacitado, que haya recibido una formación e información adecuada sobre los diferentes

riesgos y las principales medidas de prevención y protección, como por ejemplo: la formación específica frente a los riesgos eléctricos, atrapamiento en zonas peligrosas, caídas de altura, etc. Esta formación debe ser práctica y específica en función de cada tipo de máquina, del lugar de trabajo donde se encuentre, etc.

Determinadas tareas de riesgo requieren de instrucciones y procedimientos de trabajo específicos, que recojan riesgos y medidas de prevención y protección en el funcionamiento normal de la máquina y en situaciones de emergencia. Algunas posibles tareas que podrían requerir de estos procedimientos e instrucciones serían: el acceso al aerogenerador en función de las condiciones meteorológicas; los trabajos con riesgo eléctrico; el acceso al foso, buje y palas; el bloqueo del rotor; la circulación por la torre; el uso del polipasto; el acceso al habitáculo del transformador, etc. Para la realización de mantenimientos correctivos, se deben disponer de instrucciones de seguridad específicas para cada operación que incluyan la utilización de los medios auxiliares que se necesiten, etc.

4. MEDIDAS PREVENTIVAS

En las tablas 2, 3 y 4 se describen, de forma no exhaustiva, los riesgos y las medidas de prevención y protección en los trabajos de mantenimiento habituales en las diferentes zonas de la turbina. No están incluidos los trabajos esporádicos de mantenimiento correctivo (cambios de grandes componentes como la multiplicadora, etc.) que necesitan de medios externos auxiliares y cuya evaluación específica previa debe ajustarse a cada turbina y a cada situación.

Medidas preventivas previo acceso al aerogenerador

Antes de acceder a la máquina, se deben evaluar los riesgos específicos del trabajo en la subestación y durante el traslado desde ésta hasta la turbina. Las condiciones meteorológicas adversas podrán limitar el acceso seguro al aerogenerador y el trabajo en el mismo, por lo que establecer la velocidad del viento máxima en la base y en diferentes zonas de la máquina constituye una medida preventiva adecuada, así como, prohibir el acceso en caso de tormenta eléctrica, niebla o hielo. La velocidad del viento recomendada en la mayoría de máquinas para trabajos en la torre es de 25 m/s, en la góndola entre 20 y 25 m/s, en el buje entre 12 y 15 m/s y en el exterior de la góndola de 12 m/s.

En la subestación el trabajador debe verificar que dispone de:

- Las herramientas, equipos portátiles y equipos de comunicación en correcto estado de funcionamiento y correctamente revisados.
- Los EPI necesarios (casco, sistema anticaída, dispositivo de descenso para salvamento, EPI respiratorios contra partículas y vapores orgánicos, EPI para riesgo eléctrico, etc.), con sus revisiones e inspecciones correspondientes.
- Instrucciones de seguridad específicas en función del trabajo a realizar.
- Los límites de velocidad de viento máxima recomendada por el fabricante para poder trabajar en el interior o exterior de la máquina en condiciones de seguridad.

En el desplazamiento con el vehículo desde la subestación hasta la máquina, el vehículo debe ser adecuado para circular por terrenos sin urbanizar como los de los

FASE	RIESGOS	MEDIDA PREVENTIVA/PROTECCIÓN
BASE	Caída de objetos a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> • Obligatorio el uso de casco de seguridad en la base y las demás zonas de trabajo del aerogenerador. • Cerrar aberturas en caso de trabajar en diferentes alturas. • No dejar abandonado material en las plataformas intermedias ni en la góndola. • Cerrar las trampillas de seguridad de las plataformas cada vez que se atraviesen (tanto en sentido ascendente como descendente). • Revisiones periódicas de las condiciones estructurales de la torre y plataformas.
	Atrapamiento, desplome	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas de protección colectiva bajo el hueco del elevador para impedir atrapamiento. • Dispositivos de seguridad del elevador. • Revisiones periódicas del elevador. • Sistemas de retención de la puerta de entrada a la base. • Sistemas de sujeción en las trampillas que eviten el desplome.
	Contacto eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". • Procedimientos de seguridad específicos en el foso que contemplen, entre otros, la previa desenergización del habitáculo. • Cumplimiento normativa electrotécnica específica. • Revisión periódica de la instalación eléctrica. • Antes de iniciar tareas de mantenimiento el aerogenerador debe estar parado de forma segura, evitando la puesta en marcha de forma remota o local
	Explosión	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación específica del riesgo eléctrico y medidas de prevención y control, contemplando el derivado de arco eléctrico. • Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". • Equipos y materiales adecuados, contemplando específicamente el riesgo derivado de arco eléctrico. • EPI específicos para operaciones con riesgo de explosión por arco eléctrico • No maniobrar celdas que carezcan o tengan bajo nivel de Hexafluoruro de azufre.
	Exposición a sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de detectar fuga SF₆, abandonar inmediatamente la base del aerogenerador y ventilar. • Verificar periódicamente y previamente al trabajo en la turbina la no existencia de fugas de SF₆.

Tabla 2. Principales medidas preventivas en la base

parques eólicos y debe disponer de dispositivos de seguridad. Una vez a pie de máquina debe establecerse una zona de estacionamiento seguro del vehículo, fuera del radio de acción de las palas para evitar el riesgo de caída de objetos, restos de estructura, hielo, etc.

Medidas preventivas en la base aerogenerador

Previo al inicio de las tareas de mantenimiento la turbina debe estar parada y el control remoto desactivado, debe haberse comprobado la inexistencia de energías residuales peligrosas y tomado las medidas para evitar la puesta en marcha o conexión accidental⁸ mientras se realiza el mantenimiento. El acceso al foso y el mantenimiento eléctrico del cuadro de baja tensión y las celdas de maniobra de alta tensión deben considerarse tareas de especial peligrosidad, y deben establecerse instrucciones específicas de seguridad.

En la tabla 2 se detallan las medidas preventivas frente a los riesgos específicos en el acceso y en la base.

Medidas preventivas en la torre y plataformas intermedias

En la tabla 3 se detallan los principales riesgos y medidas preventivas a tener en cuenta para la circulación desde la base del aerogenerador a la góndola, así como el de las operaciones de mantenimiento en las diferentes estancias o plataformas existentes en el interior de la torre.

Medidas preventivas en la góndola buje y palas

En la tabla 4 se enumeran los principales riesgos y las medidas preventivas de carácter general que pueden ocasionar las tareas de mantenimiento que se realizan en la góndola de un aerogenerador.

La norma UNE-EN 50308 recomienda la existencia de una evacuación alternativa en la góndola, e indica que debe estar dotada de medios de evacuación específicos. Estos medios de evacuación pueden ser, según la citada norma técnica, una escalera, un dispositivo de descenso de salvamento, así como puntos de anclaje cercanos a la escotilla certificados para conectar dicho dispositivo de descenso. Cuando la puerta de evacuación que da al exterior permanezca abierta deberá evitarse el riesgo de caída accidental mediante una protección específica (por ejemplo mediante un resguardo o barandilla) además de estar sujeto mediante el EPI contra caídas de altura en todo momento.

Frente al riesgo de atrapamiento con las partes móviles de los diferentes equipos de la góndola (eje lento, engranajes de multiplicadora, acoplamiento, disco o pinzas de freno, generador) se deben establecer instrucciones de seguridad específicas.

El mantenimiento eléctrico en el generador y el cuadro eléctrico requiere así mismo de instrucciones de seguridad específicas frente al riesgo eléctrico y de atrapamiento con las partes móviles (que incluya las instrucciones para el bloqueo y enclavamiento de las diferentes formas de energía).

Buje y palas

El acceso al buje y a las palas se debería realizar siguiendo un procedimiento específico de trabajo que incluya medios y circunstancias de acceso (instrucciones de bloqueo de rotor y accionamiento del freno de disco, condiciones climatológicas necesarias para el acceso, etc.); medidas preventivas a adoptar (ventilación, control de la atmósfera interior, etc.); EPI adecuados en función del riesgo; equipos y herramientas a utilizar (material eléctrico, iluminación); vigilancia desde el exterior; formación y adiestramiento, y gestión de las emergencias. En los medios y circunstancias de acceso se debe tener en cuenta lo indicado en el manual de instrucciones que proporciona el fabricante. Así por ejemplo, a velocidades de viento superiores a las indicadas por el fabricante para el trabajo en el buje podría no funcionar correctamente el sistema de bloqueo lo que podría suponer un riesgo de atrapamiento.

La pala es un conducto cerrado de dimensiones reducidas que va estrechándose a medida que se avanza. Existen normas técnicas que establecen las dimensiones ergonómicamente recomendables de algunas partes de máquinas para el paso del cuerpo humano como la UNE-EN 547-1⁹ que especifica las dimensiones relevantes para el paso de todo el cuerpo en las máquinas, basándose en datos antropométricos básicos y añadiendo holguras para asegurar el paso y trabajo sin dificultad y de forma segura y en la UNE-EN 547-2¹⁰ que especifica las dimensiones de las aberturas de acceso en las máquinas fijas, según datos antropométricos. El fabricante en su manual de instrucciones debería indicar si la pala es accesible, es decir si las dimensiones de la boca de hombre por un lado y del espacio interior por otro permiten la realización de trabajos en su interior, así como si la reparación se puede realizar con la pala montada sobre el aerogenerador o bien se necesita que las palas estén sobre el suelo. El trabajador debe disponer de esta información lo que le permitirá conocer si el trabajo en el interior de la pala es o no posible. El acceso y trabajo en el interior de las palas también debe estar detallado en un procedimiento de trabajo específico para las diferentes tareas que se realizan, que incluya lo indicado anteriormente para el buje, además de la distancia longitudinal máxima que pueden recorrer los trabajadores en su interior.

Exterior de la góndola (capota)

En la tabla 4, dentro de las medidas específicas para la góndola, buje y palas se establece la recomendación de fijar, previo al acceso al exterior de la capota, las condiciones meteorológicas necesarias para realizar el trabajo minimizando los riesgos de caída de altura (velocidad de viento elevada, lluvia, hielo, etc.).

Dentro del procedimiento de seguridad se debe indicar cómo conectar el EPI contra caídas de altura en función del tipo de sistema de anclaje instalado en la capota (puntos de anclaje certificados, rail metálico con carro, etc.)

El trabajador debe estar formado e informado sobre cómo realizar el desembarco correcto al exterior y la forma de sujetar el equipo anticaída a los puntos de anclaje específicos de la instalación.

8. Anexo II. Punto 14 Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

9. 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.
10. UNE-EN 547-2 Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 2: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para las aberturas de acceso.

FASE	RIESGOS	MEDIDA PREVENTIVA/PROTECCIÓN	
TORRE	TODAS LAS PLATAFORMAS	Caídas de altura	<ul style="list-style-type: none"> • Ver punto "Medidas preventivas específicas frente al riesgo de caída de altura". • Protección colectiva en aberturas y huecos. • No superar la velocidad máxima de viento recomendada por el fabricante para trabajos en la torre. • Normas de seguridad para el acceso y permanencia en las diferentes plataformas intermedias con el uso de EPI. • Cerrar las trampillas. • Uso EPI en el interior del elevador y cuando se abandona el habitáculo. • No apoyarse contra las puertas y estructuras metacrilato del elevador. Revisión periódica. • No permanecer sobre la trampilla o en las inmediaciones sin estar asegurado con EPI. • Mantenimiento periódico de la escala. En caso de peldaños en mal estado o elementos no sujetos de escala detener el ascenso y reparar. • Orden y limpieza.
		Desplome de estructura de torre, plataforma.	<ul style="list-style-type: none"> • Respetar el peso máximo y número de personas indicado por el fabricante en cada plataforma y señalizarlo. • Revisión periódica de la estructura (torre, plataformas intermedias). • Aerogenerador debe estar parado de forma segura, evitando la puesta en marcha de forma remota.
		Caídas de objetos a distinto nivel.	<ul style="list-style-type: none"> • Orden y limpieza. • Utilizar medios de transporte adecuados de herramientas y equipos (portaherramientas, puente grúa y polipasto). • Establecer medios de coordinación en el caso de trabajos en diferentes plataformas. • Cierre de trampillas. • Protección colectiva en el perímetro de aberturas y huecos con barandilla, listón intermedio, rodapiés. • Uso casco de seguridad.
		Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar sistemas de retención de trampillas. • Cerrar trampillas. • Uso guantes de protección mecánica y calzado de seguridad.
		Caídas al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> • Orden y limpieza.
		Sobresfuerzos y posturas forzadas	<ul style="list-style-type: none"> • Ver punto "Medidas preventivas de carácter general".
	CONTACTO ELÉCTRICO	<ul style="list-style-type: none"> • Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". • Evitar el roce con elementos metálicos de los cables eléctricos próximos a la escala. • No utilizar los conductores como puntos de anclaje o asideros para ayudarse en el desembarco de la escala. 	
	USO ELEVADOR	Desplome del elevador	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación específica del elevador, según el Real Decreto 1215/1997. • Dispositivos de seguridad. • No sobrepasar la carga máxima marcada por el fabricante. • Mantenimiento preventivo periódico y previo al uso. • Respetar las instrucciones del fabricante.
		Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Seguir instrucciones del fabricante durante el desplazamiento y salida del elevador. • Verificar dispositivos de seguridad del elevador previo al uso y periódicamente y no alterarlos. • No utilizar el elevador en posición automático para el transporte de trabajadores. • No desplazarse en zonas no destinadas para el transporte de trabajadores.
		Golpes con elevador	<ul style="list-style-type: none"> • Prohibido acceder o utilizar la escala mientras el elevador está funcionando.
	PLATAFORMA TRANSFORMADOR	CONTACTO ELÉCTRICO	<ul style="list-style-type: none"> • No acceder al transformador sin desenergizarlo. No manipular los conductores ni la puerta de entrada al mismo. • No vulnerar los dispositivos de enclavamiento de los habitáculos de alta tensión. No utilizar llaves maestras. • Utilización de EPI frente a arco eléctrico. • Ver punto "Medidas preventivas de carácter general".
		CONTACTO TÉRMICO	<ul style="list-style-type: none"> • Dejar enfriar el transformador antes de manipularlo. • Señalización adecuada de las zonas de riesgo. • Uso guantes protección térmica.
Explosión/incendio		<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación específica del riesgo eléctrico y medidas preventivas, contemplando el derivado de arco eléctrico. • Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". • Equipos y materiales adecuados, contemplando específicamente el riesgo derivado de arco eléctrico. • EPI para operaciones con riesgo de explosión por arco eléctrico. 	

Tabla 3. Principales medidas preventivas en la torre y plataformas

TORRE	PLATAFORMA CORONA	Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> Instrucciones o procedimientos de trabajo para realizar de forma segura las diferentes operaciones de mantenimiento en el sistema de orientación del aerogenerador. Verificar la existencia de dispositivos de seguridad. Ver punto "Medidas preventivas de carácter general".
		Exposición a sustancias químicas.	<ul style="list-style-type: none"> Los productos químicos deben disponer de la ficha de datos de seguridad actualizada así como estar etiquetados. Adoptar las medidas de prevención o protección adecuadas derivadas de la evaluación de riesgos específica. Utilizar Equipos de protección individual adecuados.
		Proyección de partículas y sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> En las tareas de mantenimiento mantener el circuito hidráulico sin presión. Utilizar gafas de seguridad adecuados al riesgo de proyección.

Tabla 3. Principales medidas preventivas en la torre y plataformas (continuación).

FASE	RIESGOS	MEDIDA PREVENTIVA/PROTECCIÓN	
GÓNDOLA, BUJE Y PALAS	RIESGOS GENERALES	Exposición a agentes químicos	<ul style="list-style-type: none"> Ventilar correctamente el emplazamiento. Evaluación específica de riesgos de la exposición a agentes químicos. Utilizar EPI adecuados. Seguir las indicaciones de las fichas de seguridad del producto
		Caída de altura	<ul style="list-style-type: none"> Ver punto "Medidas preventivas específicas frente al riesgo de caída de altura". Sistema de protección mediante barandillas o cerramientos en zona polipasto o puente-grúa, que proteja hueco tras abertura de puerta. En los trabajos en la zona de carga de polipasto o puente grúa o cercanos a aberturas y huecos asegurarse mediante sistema de protección individual contra caídas de altura, permaneciendo en todo momento sujetos. La zona de evacuación situada en la góndola estará siempre en condiciones de utilización. Puntos de anclaje suficientes en aberturas o huecos sin proteger.
		Desplome de estructura	<ul style="list-style-type: none"> Revisión periódica y previa al uso de cargas de gran peso, del estado de la fibra. Respetar el peso máximo en la plataforma indicado por el fabricante. Señalizarlo adecuadamente e incluirlo en los procedimientos de trabajo.
		Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". Evaluar específicamente según Real Decreto 1215/1997 los equipos de la góndola. Procedimiento específico de actuación en el mantenimiento de los equipos. Evitar llevar elementos que puedan quedar atrapados con elementos móviles (pulseras, collares, anillos, etc.).
		Contacto térmico	<ul style="list-style-type: none"> Tener en cuenta el tiempo de parada y enfriamiento indicado por el fabricante, antes de empezar el trabajo. Uso de guantes protección térmica. Señalización de las zonas de riesgo.
		Contacto eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". Evitar pisar los conductores y llevar elementos que puedan rozar las cubiertas de los mismos.
		Explosión circuitos a presión	<ul style="list-style-type: none"> Instrucciones de seguridad específicas para trabajos en grupo hidráulico, que tengan en cuenta las instrucciones del fabricante. Evitar llevar elementos que puedan quedar atrapados con elementos móviles (pulseras, collares, anillos, etc.). Utilización EPI adecuados.
		Incendio	<ul style="list-style-type: none"> Ver punto "Medidas preventivas de carácter general".
		Proyección partículas y sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> Seguir procedimiento específico para trabajos en grupo y circuito hidráulico. Uso de gafas de seguridad.
		Explosión	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación específica del riesgo eléctrico y medidas de prevención y control, contemplando el derivado de arco eléctrico. Ver punto "Medidas preventivas de carácter general". Equipos y materiales adecuados, contemplando específicamente el riesgo derivado de arco eléctrico. Seguir las instrucciones específicas del fabricante.
EQUIPOS ELEVA-CIÓN CARGAS	<td> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar riesgos específicos de los equipos de elevación de cargas) según el Real Decreto 1215/1997 y estudiar medidas de prevención y protección. Uso de equipos con marcado CE y declaración de conformidad. Se seguirán las instrucciones específicas indicadas por el fabricante Mantenimiento preventivo periódico de los equipos siguiendo lo indicado por el fabricante. Uso de guantes protección mecánica. </td>	<ul style="list-style-type: none"> Evaluar riesgos específicos de los equipos de elevación de cargas) según el Real Decreto 1215/1997 y estudiar medidas de prevención y protección. Uso de equipos con marcado CE y declaración de conformidad. Se seguirán las instrucciones específicas indicadas por el fabricante Mantenimiento preventivo periódico de los equipos siguiendo lo indicado por el fabricante. Uso de guantes protección mecánica. 	

Tabla 4. Principales medidas preventivas en góndola, buje y palas

GÓNDOLA, BUJE Y PALAS	EQUIPOS ELEVACIÓN CARGAS	Caída de objetos a diferente nivel	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizarán elementos de izado con marcado CE y revisados periódicamente • Se seguirán las instrucciones del fabricante acerca del peso máximo de utilización. • Asegurar la carga adecuadamente, verificando que el volumen de la carga no supera la dimensión de la escotilla de la góndola. • No vulnerar los dispositivos de seguridad. 			
		Contactos eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento periódico preventivo de los equipos de trabajo. • Mantenimiento correctivo de los elementos del equipo (carcasa, cable de conexión, etc.) si hay deficiencias. 			
		Desplome de la estructura	<ul style="list-style-type: none"> • No sobrepasar el peso máximo del equipo que marca el fabricante. • Vigilar el recorrido de la carga en todo momento. • No vulnerar los dispositivos de seguridad. 			
	BUJE Y PALAS		Caída de altura	<ul style="list-style-type: none"> • Ver punto “Medidas preventivas específicas frente al riesgo de caída de altura”. • Revisión periódica del estado de la fibra. • Procedimiento de trabajo específico para acceso y permanencia en el interior de buje y palas. • Utilizar EPI para trabajos en altura. • Coordinación adecuada con el personal de la góndola. • No sobrepasar el peso máximo de las tapas de las palas marcadas por el fabricante. En caso de tener que retirarlas o carecer de ellas permanecer permanentemente anclado a un punto seguro. 		
			Incendio y explosión	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento trabajo y medios de detección y ventilación adecuados en operaciones lijado de palas. 		
			Atrapamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • No abrir la compuerta de acceso al buje hasta no tener bloqueado mecánicamente el rotor. • Seguir las instrucciones del fabricante en el bloqueo del rotor y palas respetando las velocidades del viento. • Evitar llevar objetos colgantes. • No superar la velocidad de viento máxima indicada por el fabricante para trabajos en buje y palas. • Procedimiento de trabajo específico para acceso y permanencia en el interior de buje y palas. • Diseño de boca de hombre de acceso a buje y palas con dimensiones adecuadas de acceso (norma UNE-EN 547-1). • Señalizar espacios confinados existentes. • Señalizar en las palas el punto máximo hasta donde está permitido trabajar sin riesgo de atrapamiento, evitar acceso a palas que no dispongan de espacio mínimo de trabajo. 		
			Asfixia	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar en función de la tipología de buje y siempre que se accede al interior de la pala la calidad del aire interior mediante dispositivos detectores. • En caso de detectarse fugas de aceite o grasas en el interior del buje, utilizar los EPI adecuados y ventilar adecuadamente. • Algunos espacios deben tratarse como espacios confinados. 		
			Exposición a temperaturas extremas	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las condiciones de temperatura en las que se pueden realizar las tareas en el interior de buje y palas. Establecer medidas organizativas. • Utilizar ropa de trabajo adecuada al riesgo. 		
			Desplome estructura	Revisión periódica fibra buje y palas. No superar el peso máximo indicado por el fabricante.		
			Exposición a sustancias químicas	Los productos químicos deben disponer de la ficha de datos de seguridad actualizada así como estar etiquetados. Adoptar las medidas de prevención o protección adecuadas derivadas de la evaluación de riesgos específica. Ventilación. Utilizar Equipos de protección individual adecuados.		
			Proyección de sustancias químicas	Procedimiento de trabajo específico para acceso y permanencia en el interior de buje y palas y trabajo con acumuladores. Desconexión de energía hidráulica en mantenimiento. Uso de EPI.		
			EXTERIOR GÓNDOLA		Caídas al mismo nivel	Procedimiento de trabajo específico, estableciendo velocidades máximas para trabajos en exterior, así como llevar permanentemente el equipo de comunicación. No salir al exterior en caso de fuerte lluvia o hielo. En caso de existir superficies deslizantes instalar sistemas adicionales como bandas, pinturas.
					Caídas de altura	Procedimiento de trabajo específico, estableciendo velocidades máximas para trabajos en exterior, llevar permanentemente el equipo de comunicación. No superar la velocidad de viento máxima indicada por el fabricante para trabajos en el exterior de la góndola. No realizar trabajos en el exterior en condiciones climatológicas adversas (lluvia, nieve, hielo). No sobrepasar el peso máximo autorizado por el fabricante de la turbina. Uso de EPI contra caídas de altura . Ver punto “Medidas preventivas específicas frente al riesgo de caída de altura”. En caso de detectar fisuras en la fibra detener el trabajo de inmediato.

Tabla 4. Principales medidas preventivas en góndola, buje y palas (continuación)

EXTERIOR GONDOLA	Caída de objetos	Procedimiento de trabajo específico, estableciendo velocidades máximas para trabajos en exterior, llevar permanentemente el equipo de comunicación. Uso de portaherramientas específicos. En la sustitución de componentes exteriores, señalar la operación en la base de la turbina.
	Radiación solar	Uso de gafas de protección solar.

Tabla 4. Principales medidas preventivas en góndola, buje y palas (continuación)

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION.
Operations & Maintenance. Recommended Practices
Año 2012.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION
Safety in wind energy. Fall protection. Año 2012.

ASOCIACIÓN EÓLICA ESPAÑOLA
Guía de buenas prácticas para trabajos en espacios confinados. Palas.
Año 2014.

ACCIONA WINDPOWER
Manual eléctrico y de operación de la máquina AW-1500.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA.
Gestor de proyectos e instalaciones energéticas.
Mayo 2010 Cucó Pardillos, Salvador.

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

RD. 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.
2ª Edición.

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.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.
Cuestionario de identificación y prevención del riesgo en espacios confinados.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO:
NTP 223. Trabajos en recintos confinados.
NTP 774. Sistemas anticaídas. Componentes y elementos.
NTP 809. Descripción y elección de dispositivos de anclaje.
NTP 843. Dispositivos de anclaje C.

Otra información sobre EPI: portal específico del INSHT en la página web <http://www.insht.es/portal/site/Epi/>

AENOR:

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

UNE-EN 61400-1:2006/A1:2011. Aerogeneradores: Parte 1: Requisitos de diseño.

UNE-EN 547-1:1997+A1:2009. 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.

UNE-EN 547-2:1997+ A1: 2009. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 2: Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para las aberturas de acceso.

UNE-EN 547-3:1997+ A1: 2008. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Parte 3: Datos antropométricos.

UNE-EN 953:1998+ A1: 2009. Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.

UNE-EN ISO 13855:2011. Seguridad de las máquinas. Posicionamiento de los protectores con respecto a la velocidad de aproximación de partes del cuerpo humano.

UNE-EN ISO 13857:2008. Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores.

UNE-EN 1496:2007. Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de salvamento mediante izado.

EN 795:2012. Personal fall protection equipment - Anchor devices.

UNE-EN 353-1:2002. Equipos de protección individual contra caídas de altura. Parte 1: Dispositivos anticaídas deslizantes sobre línea de anclaje rígida.

UNE-EN 361:2002. Equipos de protección individual contra caídas de altura. Arnés anticaídas.

UNE-EN 358:2000. Equipo de protección individual para sujeción en posición de trabajo y prevención de caídas de altura. Cinturones para sujeción y retención y componente de amarre de sujeción.

UNE-EN 355:2002. Equipos de protección individual contra caídas de altura. Absorbentes de energía.

UNE-EN 354:2011. Equipos de protección individual contra caídas. Equipos de amarre.

EN 341:2011. Personal fall protection equipment. Descender devices for rescue.

UNE-EN 360:2002. Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos anticaídas retráctiles.

UNE-EN 362:2005. Equipos de protección individual contra caídas de altura. Conectores.

Agradecimientos

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