

# Plan de mantenimiento y estudio de evaluación de riesgos de un aerogenerador



**Universidad**  
de La Laguna

**Alumno:** Alejandro Dahaj Cruz

**Tutor:** D. Ignacio Teresa Fernández

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología (ESIT)

Universidad de La Laguna

Curso 2022-2023



## **Agradecimientos**

Nunca hubiera sido capaz de superar estos años de aprendizaje sin el apoyo constante de mi familia, es gracias a ellos que hoy estoy aquí y me temo que jamás seré capaz de devolverles la confianza y esperanza que han depositado en mí todo este tiempo, gracias desde el fondo de mi corazón.

Agradezco enormemente los consejos y las lecciones que el personal docente y mis tutores me han enseñado durante toda mi fase universitaria, pues estos serán los pilares sobre los que se construirá mi futuro, tanto formativo como laboral.

No puedo olvidar referenciar a todo mi círculo cercano de amistades, sin ellas no habría sido capaz de sostenerme en los momentos más críticos de estos últimos años, especialmente menciono con cariño a mis compañeros de carrera, Asbel, Guillermo, Jose y Carlos, quienes no perdieron la fe en mí, incluso cuando yo mismo la había abandonado, jamás lo olvidaré.

Por último, pero no por ello menos importante, gracias a Dios por brindarme la tenacidad necesaria para superar mis peores momentos.

## Índice

1. Resumen.....	11
2. Abstract .....	13
3. Descripción, evolución y tecnología asociada a un aerogenerador.....	15
3.1. Introducción .....	15
3.2. Energía eólica. Tipos de energía eólica .....	15
3.3. ¿Qué es un aerogenerador?.....	16
3.4. Origen y evolución histórica.....	16
3.5. Clasificación de aerogeneradores .....	18
3.5.1. Orientación respecto al eje de giro .....	18
3.5.1.1. Aerogenerador de eje horizontal ( <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i> , HAWT).....	18
3.5.1.2. Aerogenerador de eje vertical ( <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> , VAWT).....	19
3.5.2. Número de palas .....	21
3.5.3. Velocidad de rotación .....	26
3.5.4. Posición del rotor respecto a la dirección del viento .....	26
3.5.5. Caja multiplicadora o accionamiento directo/Tipología tecnológica.....	28
3.5.5.1. Turbina eólica con caja multiplicadora .....	28
3.5.5.2. Turbina eólica sin caja multiplicadora o <i>direct-drive</i> .....	28
3.5.6. Sistema generador de la turbina eólica .....	29
3.5.7. Sistema de orientación.....	36
4. Perfil de aerogenerador escogido .....	39
4.1. Elementos del aerogenerador escogido .....	39
4.1.1. Cimentación .....	41
4.1.2. Torre .....	42
4.1.3. Góndola .....	44
4.1.3.1. Eje lento y de alta velocidad .....	44
4.1.3.2. Multiplicadora .....	45
4.1.3.3. Polipasto/Puente grúa .....	45
4.1.3.4. Sistema de salvamento y puerta lateral de evacuación.....	45
4.1.3.5. Generador .....	46
4.1.3.6. Sistema hidráulico .....	46
4.1.3.7. Sistema de orientación.....	46
4.1.3.8. Sistema de freno .....	47
4.1.3.9. Sistema de bloqueo .....	48
4.1.3.10. Sistema de lubricación y refrigeración.....	48

4.1.3.11. Sistema de control .....	49
4.1.4. Rotor.....	50
4.1.4.1. Palas .....	50
4.1.4.2. Buje.....	53
5. Plan de mantenimiento de un aerogenerador.....	55
5.1. Definición de mantenimiento industrial .....	55
5.2. Tipos de mantenimiento. Definiciones .....	55
5.3. Definición de un plan de mantenimiento .....	57
5.4. Contenido de un plan de mantenimiento.....	58
5.5. Normativa aplicable para el plan de mantenimiento de un aerogenerador .....	58
5.5.1. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.....	58
5.5.2. Decreto 6/2015, de 30 de enero, por el que se aprueba el Reglamento que regula la instalación y explotación de los Parques Eólicos en Canarias.....	59
5.5.3. Real Decreto 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.....	60
5.5.4. Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas .....	62
5.5.5. 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.....	63
5.5.6. Reglamentación electrotécnica específica .....	63
5.5.7. UNE-EN 50308:2005. Aerogeneradores. Medidas de protección. Requisitos para diseño, operación y mantenimiento .....	63
5.5.8. UNE-EN 547-1:1997+A1:2009. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano .....	64
5.5.9. Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo .....	64
5.5.10. Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo .....	65
5.6. Arborescencia funcional.....	65
5.7. Principios de la estrategia de mantenimiento de un aerogenerador .....	68
5.8. Coste del mantenimiento de un aerogenerador.....	71
5.8.1. Coste anual generalizado .....	71
5.8.2. Coste de la mano de obra .....	71
5.8.3. Coste de las inspecciones: frecuencia trimestral frente a la semestral.....	72
5.9. Flujograma del mantenimiento correctivo de un aerogenerador .....	73

5.10. Listado de las actividades preventivas de la inspección <i>in situ</i> o detallada de un aerogenerador .....	74
5.11. Planilla de mantenimiento de un aerogenerador: inspecciones detalladas y completas .....	79
6. Estudio de evaluación de riesgos .....	81
6.1. Definición de evaluación de riesgos laborales .....	81
6.2. Procedimiento generalizado de la evaluación de riesgos laborales .....	82
6.3. Flujograma exhaustivo de la evaluación de riesgos laborales .....	84
6.4. Normativa aplicable para el estudio de evaluación de riesgos.....	85
6.5. Identificación de riesgos para el mantenimiento de un aerogenerador .....	90
6.5.1. Riesgos previos al acceso del aerogenerador .....	90
6.5.2. Riesgos específicos y comunes en el acceso y la base del aerogenerador .....	90
6.5.3. Riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador .....	92
6.5.4. Riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador .....	95
6.6. Método de estimación de los riesgos .....	98
6.6.1. Daño potencial/Severidad.....	98
6.6.2. Frecuencia/Probabilidad de ocurrencia .....	99
6.6.3. Niveles de riesgo .....	99
6.6.4. Perfil base del operario de mantenimiento y elementos de seguridad.....	101
6.7. Estimación, valoración y control de los riesgos para el mantenimiento de un aerogenerador .....	107
6.7.1. Riesgos previos al acceso del aerogenerador .....	107
6.7.2. Riesgos específicos y comunes en el acceso y la base del aerogenerador .....	108
6.7.3. Riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador.....	111
6.7.4. Riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador .....	114
6.8. Riesgos no reducibles en el mantenimiento de un aerogenerador .....	119
7. Conclusiones.....	121
8. Conclusions.....	123
9. Bibliografía .....	125
10. Anexos .....	130
10.1. Planilla de mantenimiento trimestral/semestral del aerogenerador .....	130
10.2. Planilla de mantenimiento anual/trienal del aerogenerador .....	132
10.3. Planilla simplificada del mantenimiento legal .....	133
10.4. Resumen de actividades del mantenimiento del ascensor.....	134

## Índice de figuras

Figura 3.1. Primera turbina eólica en la historia .....	16
Figura 3.2. Aerogeneradores de prueba de Poul la Cour, 1897 .....	17
Figura 3.3. Aerogeneradores de eje horizontal .....	18
Figura 3.4. Clasificación de aerogeneradores de eje vertical .....	19
Figura 3.5. Comparativa entre diferentes aerogeneradores en relación con el límite de Betz (59.3 %)	22
Figura 3.6. Aerogenerador de rotor basculante bipala .....	23
Figura 3.7. Aerogenerador de rotor monopala con contrapeso .....	23
Figura 3.8. Componentes del aerogenerador Vortex Bladeless .....	24
Figura 3.9. Sistema de generación de energía eléctrica Vortex Bladeless .....	25
Figura 3.10. Rotor a barlovento y sotavento .....	27
Figura 3.11. Esquema de la configuración con caja multiplicadora .....	28
Figura 3.12. Esquema de la configuración de accionamiento directo .....	29
Figura 3.13. Rotor con “jaula de ardilla” .....	31
Figura 3.14. Configuración de turbina eólica con “jaula de ardilla” .....	31
Figura 3.15. Configuración de turbina eólica con generador de anillo deslizante .....	32
Figura 3.16. Anillos rozantes en un rotor bobinado de un generador asíncrono .....	33
Figura 3.17. Generador asíncrono doblemente alimentado en un aerogenerador .....	33
Figura 3.18. Configuración de turbina eólica con un generador asíncrono doblemente alimentado .....	34
Figura 3.19. Rotor de imanes permanentes.....	35
Figura 3.20. Sistema de orientación del rotor mediante timón de cola .....	36
Figura 3.21. Sistema de orientación del rotor por efecto de rotores auxiliares .....	37
Figura 3.22. Sistema de orientación del rotor por efecto de la conicidad.....	37
Figura 4.1. Aerogenerador de eje horizontal tripala.....	39
Figura 4.2. Componentes principales de un aerogenerador de eje horizontal tripala .....	40
Figura 4.3. Construcción de la cimentación para un aerogenerador.....	41
Figura 4.4. Tipos de interfaz en la cimentación de aerogeneradores.....	42
Figura 4.5. Cimentación prefabricada para torre eólica .....	42
Figura 4.6. Montaje de torre tubular de acero para un aerogenerador .....	43
Figura 4.7. Aerogenerador con torre de celosía .....	43
Figura 4.8. Elementos de la góndola de una turbina eólica .....	44
Figura 4.9. Multiplicadora de engranajes de árboles paralelos .....	45
Figura 4.10. Interruptor de límite para las transmisiones de <i>yaw</i> .....	47
Figura 4.11. Fabricación de la viga de la pala.....	50

Figura 4.12. Fabricación de las conchas de la pala.....	51
Figura 4.13. Ensamblaje y curado de la pala .....	51
Figura 4.14. Acabado de la pala .....	52
Figura 4.15. Principio de la sustentación .....	52
Figura 4.16. Resultante de la sustentación .....	53
Figura 4.17. Bujes con y sin nariz almacenados para su transporte .....	54
Figura 5.1. Tipos de mantenimiento .....	55
Figura 5.2. Tipos de mantenimiento preventivo según la tipología.....	57
Figura 5.3. Arborescencia funcional del acceso al aerogenerador .....	65
Figura 5.4. Arborescencia funcional de la base del aerogenerador.....	66
Figura 5.5. Arborescencia funcional de la torre del aerogenerador .....	66
Figura 5.6. Arborescencia funcional de la góndola del aerogenerador .....	67
Figura 5.7. Arborescencia funcional del rotor del aerogenerador.....	68
Figura 5.8. Niveles de inspección en una turbina eólica.....	70
Figura 5.9. Frecuencias de las inspecciones en una turbina eólica.....	70
Figura 5.10. Flujograma del mantenimiento correctivo de un aerogenerador .....	73
Figura 6.1. Flujograma general del procedimiento de la evaluación de riesgos laborales .....	83
Figura 6.2. Flujograma exhaustivo del procedimiento de la evaluación de riesgos laborales....	84

## Índice de tablas

Tabla 5.1. Comparación económica entre las inspecciones trimestrales y semestrales en un aerogenerador .....	72
Tabla 5.2. Actividades preventivas de la inspección <i>in situ</i> o detallada .....	79
Tabla 6.1. Lista de riesgos previos al acceso del aerogenerador .....	90
Tabla 6.2. Lista de riesgos específicos en el acceso al aerogenerador .....	90
Tabla 6.3. Lista de riesgos específicos en la base del aerogenerador.....	91
Tabla 6.4. Lista de riesgos comunes al acceso y la base del aerogenerador .....	92
Tabla 6.5. Lista de riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador.....	94
Tabla 6.6. Lista de riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador .	98
Tabla 6.7. Ejemplos de referencia para la severidad de los riesgos.....	99
Tabla 6.8. Niveles de riesgo en función de la severidad y probabilidad de ocurrencia .....	100
Tabla 6.9. Definiciones de los niveles de riesgo. Acción preventiva y frecuencia asociada ....	100
Tabla 6.10. Equipos de Protección Individual de los operarios de mantenimiento .....	104
Tabla 6.11. Herramientas de los operarios de mantenimiento .....	105
Tabla 6.12. Equipos de protección colectiva y elementos de seguridad del aerogenerador ...	106
Tabla 6.13. Estimación, valoración y control de los riesgos previos al acceso del aerogenerador .....	108
Tabla 6.14. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos en el acceso al aerogenerador .....	108
Tabla 6.15. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos en la base del aerogenerador .....	109
Tabla 6.16. Estimación, valoración y control de los riesgos comunes al acceso y la base del aerogenerador .....	110
Tabla 6.17. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador .....	113
Tabla 6.18. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador.....	118
Tabla 6.19. Riesgos no reducibles en el mantenimiento de un aerogenerador .....	120



## 1. Resumen

Actualmente, dentro de la industria de la generación de energía renovable, el sector eólico es uno de los mayores grupos de contribución energética, formado en esencia por el montaje e instalación de diversos parques eólicos alrededor del mundo, generalmente en zonas donde las corrientes de viento presenten velocidades aceptables de forma continua, es decir que el recurso eólico sea aceptable dentro de los márgenes establecidos por las grandes empresas del sector.

Los aerogeneradores de grandes potencias son, en esencia, grandes equipos de trabajo con un elevado coste y múltiples horas de uso anuales. En otras palabras, son maquinaria industrial en constante funcionamiento expuesta a la intemperie, esto sumado a la gran cantidad de equipos instalados en su interior de diversa naturaleza (sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos y/o neumáticos), son propensos a la generación de averías por desgaste, accidentes externos o condiciones climatológicas adversas. Precisamente por ello es fundamental la elaboración de un plan riguroso de mantenimiento y la elaboración previa y periódica de un estudio de evaluación de riesgos, pues la aparición de fallos o la ocurrencia de daños sobre los trabajadores puede resultar en la parada de la turbina eólica, lo que se traduciría en pérdidas de horas de generación eléctrica y, por tanto, en una disminución de los beneficios económicos.

El presente proyecto tiene por objetivo principal elaborar un estudio para la comprensión del funcionamiento generalizado de cualquier modelo de aerogenerador, así como de la realización de un plan de mantenimiento y un estudio de evaluación de riesgos que pueda funcionar como base para cualquier modelo actual del mercado, siempre dentro de la tipología más extendida del sector, el aerogenerador tripala con caja multiplicadora. Afortunadamente, podría hacerse uso de esta memoria para los modelos de accionamiento directo extrayendo las acciones de mantenimiento y el estudio de los riesgos relacionados con la caja multiplicadora.

El presente proyecto puede dividirse en tres grandes partes:

- 1) Estudio previo de la historia, tipología, tecnología y componentes de un aerogenerador.
- 2) Plan de mantenimiento de un aerogenerador.
- 3) Estudio de evaluación de riesgos de un aerogenerador.

A lo largo del desarrollo de la memoria, concretamente dentro del plan de mantenimiento, quedará claro que la estrategia de mantenimiento de un aerogenerador difiere en gran medida con las que suelen elaborarse dentro de la industria del sector eléctrico, donde predomina la rama del mantenimiento preventivo sistemático completo.

Adicionalmente, dentro del estudio de evaluación de riesgos, donde se recogerá la formación, herramientas, elementos de protección (tanto individuales como colectivos) y su normativa correspondiente, se podrá observar que existen ciertos riesgos que, por naturaleza, no pueden ser reducidos y para los cuales el empresario sólo podrá establecer todas las acciones preventivas que sean posibles en beneficio de sus trabajadores.

## 2. Abstract

Currently, within the renewable energy generation industry, the wind energy sector is one of the largest contributors to energy, consisting essentially of the assembly and installation of various wind farms around the world, generally in areas where wind currents present acceptable speeds on a continuous basis. In other words, the wind resource is acceptable within the margins established by the large companies in the sector.

Large wind turbines are, in essence, large pieces of equipment with a high cost and multiple hours of use per year. In other words, they are industrial machinery in constant operation exposed to the elements, and this, added to the large amount of equipment installed inside them of various types (mechanical, electrical, hydraulic and/or pneumatic systems), is prone to breakdowns due to wear and tear, external accidents or adverse weather conditions. It is precisely for this reason that it is essential to draw up a rigorous maintenance plan and the prior and regular preparation of a risk assessment study, as the appearance of faults or the occurrence of damage to workers can result in the shutdown of the wind turbine, which would result in the loss of hours of electricity generation and, therefore, a reduction in economic benefits.

The main objective of this project is to carry out a study to understand the general operation of any model of wind turbine, as well as to draw up a maintenance plan and a risk assessment study that can be used as a basis for any current model on the market, always within the most widespread typology in the sector, the three-bladed wind turbine with a gearbox. Fortunately, this report could be used for direct drive models by extracting the maintenance actions and the study of the risks related to the gearbox.

The present project can be divided into three main parts:

- 1) Preliminary study of the history, typology, technology and components of a wind turbine.
- 2) Maintenance plan for a wind turbine.
- 3) Risk assessment study of a wind turbine.

Throughout the development of the report, specifically within the maintenance plan, it will become clear that the maintenance strategy for a wind turbine differs greatly from those usually developed within the electricity sector industry, where the branch of full systematic preventive maintenance is predominant.

In addition, within the risk assessment study, which will include training, tools, protective elements (both individual and collective) and their corresponding regulations, it will be noted that there are certain risks that, by nature, cannot be reduced and for which the employer can only establish all the preventive actions that are possible for the benefit of his workers.

### **3. Descripción, evolución y tecnología asociada a un aerogenerador**

#### **3.1. Introducción**

El aprovechamiento de la energía cinética del viento es un concepto que ha acompañado a la humanidad desde hace miles de años. Sin embargo, desde el descubrimiento de la electricidad, es ahora en la actualidad cuando dicha forma de energía ha tomado un rol protagonista en la transición energética como tecnología líder para contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero, acercándonos de esa manera a un escenario energético libre de emisiones contaminantes.

#### **3.2. Energía eólica. Tipos de energía eólica**

La fuerza del viento toma el papel principal como fuente de obtención de energía eólica, un recurso natural inagotable por su dependencia directa con la energía solar, pues se origina debido a la incidencia irregular o no homogénea de la radiación solar en toda la superficie terrestre. Existen zonas donde la temperatura es más elevada, resultando en una disminución de la densidad del aire, mientras que en zonas más frías su densidad aumenta. Este fenómeno crea áreas de diferentes presiones, dicha diferencia genera el desplazamiento del aire y, por tanto, el viento.

Por la naturaleza del movimiento antes mencionado, las corrientes de aire tienen asociadas una energía cinética intrínseca, conocida como energía eólica. La tecnología empleada para su extracción y conversión en energía eléctrica son los llamados aerogeneradores o turbinas eólicas. Las grandes agrupaciones de estas máquinas en zonas, generalmente de un alto recurso eólico, son denominadas parques eólicos.

Hoy en día, conviven dos tipos de parques eólicos, dependiendo de la ubicación del emplazamiento dónde se genera la electricidad: energía eólica en tierra (onshore) y marina (offshore). En función de esto, existen modelos de aerogeneradores diseñados para trabajar en un entorno terrestre o marino, con múltiples diferencias asociadas a ello.

### 3.3. ¿Qué es un aerogenerador?

Un aerogenerador o turbina eólica es un dispositivo cuya función principal es la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica. El funcionamiento, a grandes rasgos, comienza cuando las corrientes de aire inciden sobre las palas del aerogenerador y hacen girar la parte conocida como rotor, este movimiento se transmite a través del eje principal hacia un generador, en la mayoría de los casos pasando previamente por un sistema de multiplicación de velocidad. Entonces, el generador transmitirá la energía eléctrica hasta un transformador o directamente a las líneas de distribución a través de un circuito de evacuación.

### 3.4. Origen y evolución histórica

En la actualidad se pueden localizar turbinas eólicas instaladas alrededor de todo el mundo. El origen de esta máquina se debe al científico estadounidense Charles F. Brush, quien construyó en el año 1887 lo que se considera como el primer aerogenerador automático para la generación de energía eléctrica.

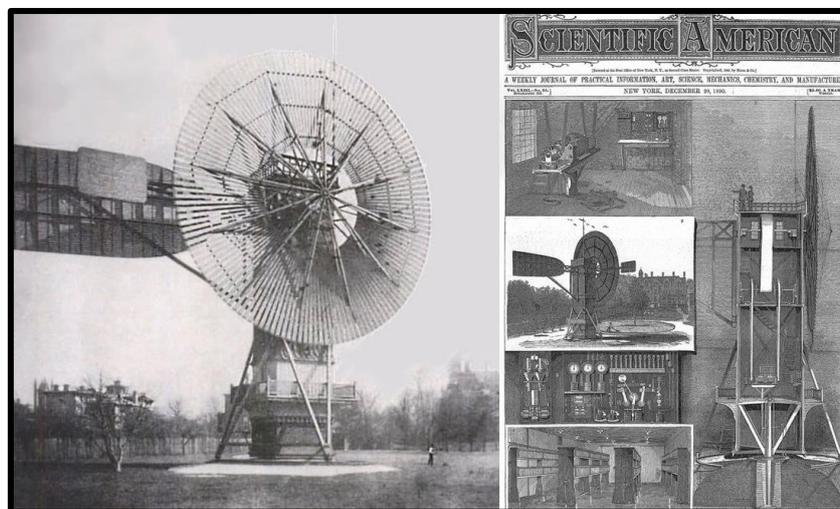


Figura 3.1. Primera turbina eólica en la historia [1]

Más adelante, el científico danés Poul la Cour, en el año 1899, mejoró el modelo al comprobar que la construcción de la estructura con una menor cantidad de palas de rotor ofrecía mejores resultados en la producción eléctrica. Es este diseño el que es considerado como el primer generador eólico moderno.



Figura 3.2. Aerogeneradores de prueba de Poul la Cour, 1897 [2]

Poco después, en 1919 fue enunciado el conocido Límite de Betz por el físico alemán Albert Betz, mediante el cual se demostró que cualquier aerogenerador únicamente puede realizar una conversión máxima del 59% de la energía cinética del viento en energía mecánica. Hoy en día, esta base teórica continúa utilizándose para la construcción de las turbinas eólicas.

El hito principal del desarrollo de la energía eólica en Europa tuvo lugar en Dinamarca, durante el primer cuarto del siglo XX, con la implantación de un modelo descentralizado de electrificación del país. Cabe destacar que entre 1930 y 1940, los molinos de viento fueron herramientas clave para la producción eléctrica en múltiples regiones agrícolas de EE. UU., las cuales aún no habían sido incorporadas a las redes de distribución.

Finalmente, cabe destacar que en el año 1941 se llevó a cabo la instalación del primer aerogenerador con una potencia superior a 1 MW, exactamente 1.25 MW, diseñado por el científico Palmer Cosslett Putnam e instalado en la localidad de Castleton, Vermont, EE. UU., llegando a funcionar mil horas hasta que una avería en una de sus aspas causó su mal funcionamiento. Esta potencia en turbinas no fue igualada o superada hasta cuatro décadas más tarde.

### 3.5. Clasificación de aerogeneradores

Aparecen numerosas clasificaciones para los aerogeneradores en función de varias de sus características:

#### 3.5.1. Orientación respecto al eje de giro

##### 3.5.1.1. Aerogenerador de eje horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT*)

Este tipo de aerogenerador es el más utilizado y extendido, se caracterizan por el giro de sus palas en dirección perpendicular a la velocidad del viento incidente, es decir, cuando el eje del rotor coincide con la dirección del viento.

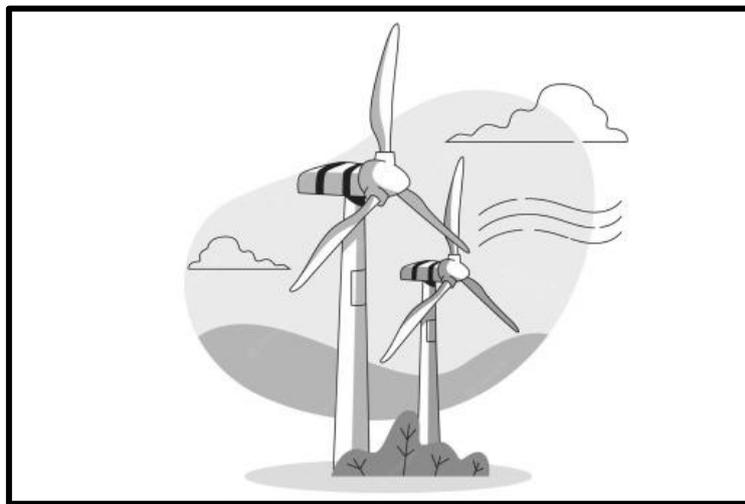


Figura 3.3. Aerogeneradores de eje horizontal [3]

#### Ventajas de los HAWT:

- Potencia de salida elevada.
- Alta eficiencia.
- Menos costoso que sus alternativas.
- Alta velocidad de giro y consistencia.
- Capaz de aprovechar su altura para alcanzar rachas de viento más intensas.
- Alta fiabilidad.
- Posibilidad de modificar el ángulo de sus palas y/o el rotor para adaptarse a las condiciones climáticas.

### Desventajas de los HAWT:

- Sólo están disponibles en tamaños grandes y son complicados de implementar para la generación distribuida.
- Su transporte de un lugar a otro es una operación compleja.
- El montaje y elevación de sus componentes requiere de una estructura base sólida y resistente.
- El mantenimiento se complica por la altura de la torre y el peso de la góndola.
- Ruido elevado comparado con sus alternativas.
- Necesidad de maquinaria pesada para su montaje e instalación.

#### 3.5.1.2. Aerogenerador de eje vertical (*Vertical Axis Wind Turbine, VAWT*)

En estos aerogeneradores, los rotores giran alrededor de un eje vertical con sus palas orientadas en esa dirección. Generan energía eléctrica del mismo modo que los aerogeneradores de eje horizontal, las corrientes de aire causan el giro del rotor y este efecto de rotación está conectado a un generador que convierte la energía mecánica en electricidad.

#### Tipos de aerogeneradores de eje vertical

Existe una gran variedad de diseños posibles para los aerogeneradores de eje vertical, en función tanto de sus palas, estructuras o formas, las cuales determinarán su funcionamiento, rendimiento y posibles aplicaciones. Sin embargo, técnicamente pueden clasificarse en dos grandes grupos, los Savonius y Darrieus.



Figura 3.4. Clasificación de aerogeneradores de eje vertical [4]

- **Aerogeneradores Savonius:** tienen palas construidas alrededor del eje vertical con forma de hélice, formando la figura de una letra “S” desde una vista aérea. Se trata de una de las turbinas eólicas más económicas y fáciles de utilizar.

Su funcionamiento se basa en la acción del viento sobre dos o más palas que giran alrededor de un eje vertical. Este tipo de turbinas no poseen caja multiplicadora ni generador integrado, por lo que están diseñadas para aplicaciones de baja potencia, como la recarga de baterías o de pequeños dispositivos.

- **Aerogeneradores Darrieus:** este tipo de turbina eólica se caracteriza por tener un eje vertical con dos o más palas curvas que recuerdan a la forma de una letra “C”.

Su funcionamiento se basa en el principio de sustentación aerodinámica. Cuando el viento incide sobre las palas curvas, se produce una diferencia de presión entre la superficie superior y la inferior, lo que genera una fuerza que impulsa la rotación de la turbina, dicho movimiento mecánico se transmite a un generador.

Uno de los principales puntos positivos de este diseño es que permite aprovechar las corrientes de aire desde cualquier dirección, convirtiendo este tipo de turbina en una opción ideal para zonas con vientos variables y turbulentos. Por desgracia, necesita de una velocidad mínima para su funcionamiento y tiende a sufrir vibraciones que afectan directamente a su eficiencia.

#### **Ventajas de los VAWT:**

- No es necesario la instalación de un sistema de orientación con respecto a la dirección del viento.
- No requieren de torre, de modo que la instalación y el mantenimiento son mucho más sencillos.
- No precisan de mecanismos de cambio de revoluciones, por lo que no suelen utilizarse en aplicaciones que necesiten una velocidad angular de valor constante.

A pesar de las ventajas mencionadas anteriormente, la tipología más extendida es la de eje horizontal, pues existen una serie de desventajas que dificultan su uso a gran escala.

#### **Desventajas de los VAWT:**

- Su cercanía con el nivel del suelo se traduce en la incidencia de corrientes de viento de bajas velocidades.
- Sufren de una baja eficiencia.
- No disponen de arranque automático, necesitan conexión a la red.
- Ciertos modelos precisan de cables tensores.

#### **3.5.2. Número de palas**

Siendo los aerogeneradores HAWT aquellos utilizados en los ámbitos de grandes potencias, se destacará la clasificación de este tipo de turbinas eólicas en función del número de palas instaladas en su rotor: tripala, bipala y monopala.

##### **Tripala**

La inmensa mayoría de los aerogeneradores que se instalan actualmente hacen uso de este diseño, con un rotor de tres palas formando un ángulo de  $120^\circ$  entre cada una de ellas.

Frente al resto de alternativas, es la tipología que más ventajas ofrece, beneficiándose de un giro más suave y constante debido a las características de su momento de inercia. Además, se trata del tipo de rotor que menos velocidad de rotación requiere para un mismo nivel productivo en comparación con sus homólogos de menos palas.

La suma de la uniformidad del giro y su menor velocidad se traduce en la prolongación de la vida útil de los diferentes componentes de la máquina.

Por último, pero no menos importante, es que el modelo tripala es el que mayor rendimiento presenta, alcanzando un 80% del límite teórico de Betz cuando el diseño de las palas es óptimo y la velocidad de rotación es la adecuada (valor nominal).

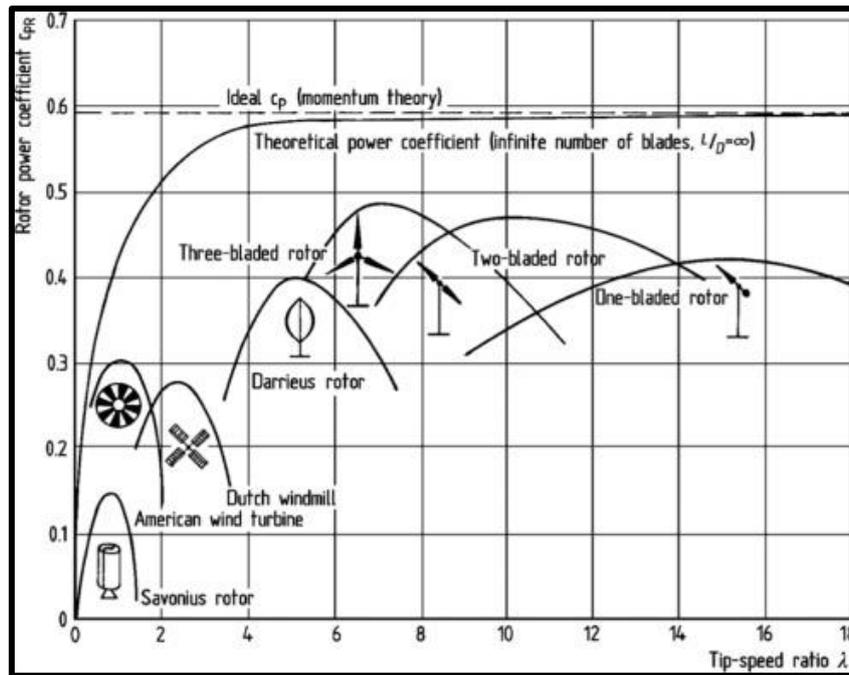


Figura 3.5. Comparativa entre diferentes aerogeneradores en relación con el límite de Betz (59.3 %) [5]

## Bipala

La ventaja que presentan los diseños de aerogeneradores de dos palas es el ahorro de costes relacionados con una de las palas del rotor, así como el peso reducido de la estructura total resultante (aproximadamente un 30% menos que un rotor tripala de características similares).

Desafortunadamente, suelen tener dificultades para adentrarse en el mercado eólico, especialmente en el ámbito de generación de grandes potencias, ya que para lograr los mismos niveles de producción energética que el rotor tripala, necesitan una mayor velocidad de rotación, lo que se traduce en un aumento del ruido, un mayor impacto negativo en el ámbito estético y el aumento del desgaste en elementos como los ejes, rodamientos y otros componentes involucrados. Además, debido a la distribución de las palas, la aparición de mayores esfuerzos dinámicos es inevitable, haciéndose necesaria la instalación de un rotor basculante a modo de compensación.



Figura 3.6. Aerogenerador de rotor basculante bipala [6]

### Monopala

Aunque es una posibilidad y disponen de una reducción de peso y coste más pronunciada que el diseño bipala, también se aplican, pero en mayor medida, los mismos problemas que las versiones de dos palas sufren.

Sumándose a la necesidad de una mayor velocidad de giro para alcanzar los mismos resultados de producción y unos aumentos aún más pronunciados del nivel de ruido e impacto visual, se hace necesaria la instalación de un contrapeso en el lado opuesto a la pala para que el rotor esté equilibrado, reduciendo parte del ahorro obtenido por la desaparición de una segunda pala.



Figura 3.7. Aerogenerador de rotor monopala con contrapeso [7]

### Alternativas destacables: Modelo sin aspas, Vortex Bladeless

Vortex Bladeless es un aerogenerador sin aspas con forma de poste, desarrollado por una *startup* española llamada Vortex Bladeless Ltd. Estos dispositivos tienen un concepto simple y se benefician de ser fáciles de fabricar, instalar y operar. Están formados por una base fija y un mástil cilíndrico que oscila perpendicular a la dirección del viento, unidos por una varilla de carbono.

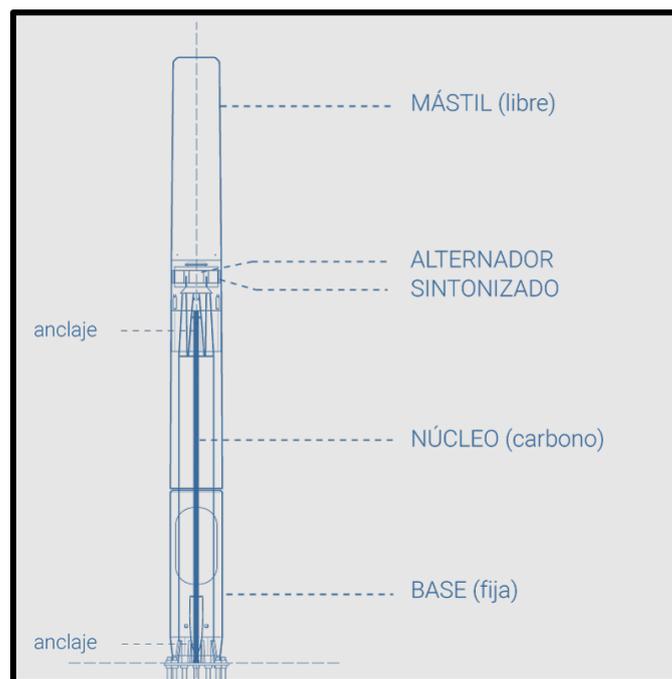


Figura 3.8. Componentes del aerogenerador Vortex Bladeless [8]

Su funcionamiento se basa en el aprovechamiento del fenómeno de resonancia aeroelástica conocido como calle de vórtices. Este acontecimiento natural sucede cuando el viento pasa alrededor de una estructura, dándose la creación de vórtices de presión.

La tasa de aparición de los mencionados vórtices depende directamente de la velocidad de las corrientes de aire. Cuando la estructura tiene una frecuencia natural similar, comenzará la oscilación y la absorción de energía por efecto de la resonancia.

La conversión de energía del dispositivo es semejante a la de un alternador tradicional, haciendo uso del fenómeno de inducción electromagnética, sin embargo, en este caso no es necesaria la rotación sobre un eje.

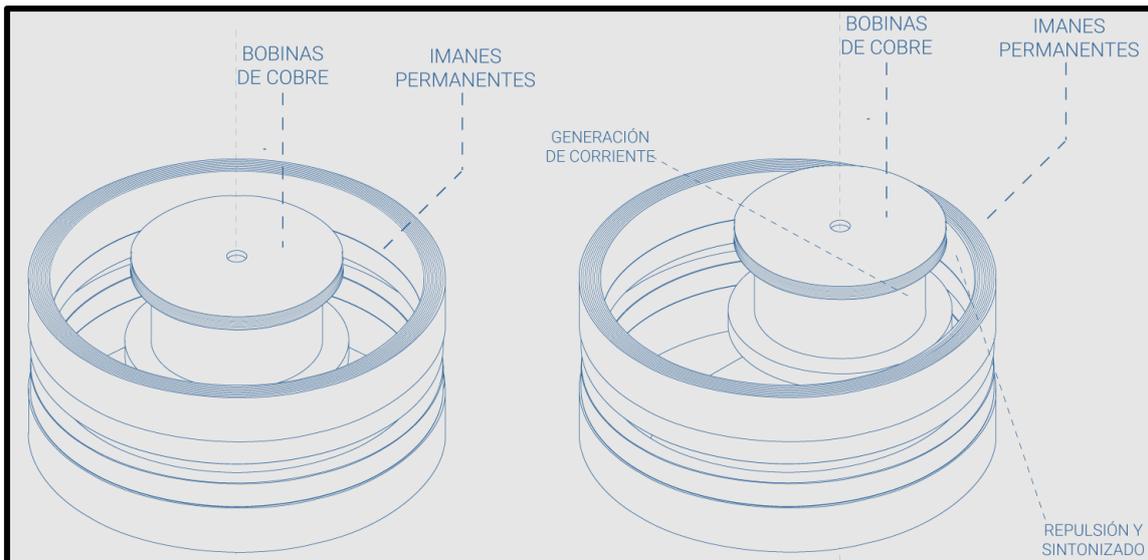


Figura 3.9. Sistema de generación de energía eléctrica Vortex Bladeless [9]

Si comparamos este aerogenerador con una turbina tradicional de la misma altura, se pueden destacar las siguientes ventajas e inconvenientes:

- Ausencia de ejes y engranajes.
- No existe la necesidad de un sistema de frenado.
- Siempre orientado hacia la dirección del viento.
- Es fácil de fabricar.
- Ambos modelos poseen cimentaciones similares.
- Tiene un menor rango de viento.
- Requiere de menos espacio para su instalación.
- Dispone de una mayor vida útil.
- Produce menos ruido.
- Solidario con las aves.

Cabe destacar que esta tecnología todavía está en desarrollo y la *startup* destaca actualmente su modelo Vortex Tacoma, de 2.75 metros de altura y una potencia nominal de 3 kW.

### **3.5.3. Velocidad de rotación**

La categorización en función de la velocidad de rotación se divide en turbinas eólicas de velocidad fija (*Fixed-Speed Wind Turbine, FSWT*) y de velocidad variable (*Variable-Speed Wind Turbine, VSWT*).

Los aerogeneradores de velocidad de rotación fija y variable difieren en la forma en la que controlan la velocidad de rotación del rotor para generar energía eólica.

Las turbinas eólicas de velocidad de rotación fija tienen una velocidad de rotación constante del rotor, la cual es determinada por la frecuencia de la corriente eléctrica de la red a la que están conectados. Estos aerogeneradores son más simples y económicos que los de velocidad variable, pero suelen tener una eficiencia energética menor, ya que no pueden adaptarse a cambios en las condiciones del viento.

Por otro lado, los aerogeneradores de velocidad de rotación variable tienen un sistema de control que permite cambiar la velocidad de rotación del rotor para optimizar la producción de energía en función de las condiciones del viento. Estos aerogeneradores suelen tener tres palas y una orientación variable que permite que el rotor gire y capture la mayor cantidad de energía posible del viento. El controlador de velocidad ajusta la velocidad de rotación del rotor para maximizar la eficiencia energética, lo que se traduce en una producción de energía más estable y consistente. Estos aerogeneradores son más complejos y costosos que los de velocidad fija, pero suelen compensarlo con una generación de energía más alta a lo largo del tiempo.

### **3.5.4. Posición del rotor respecto a la dirección del viento**

Dentro de este grupo los aerogeneradores se clasifican en función de la posición del rotor con respecto a las corrientes de aire: a barlovento o sotavento.

Los aerogeneradores a barlovento tienen colocado el rotor de cara al viento, la mayoría de las turbinas eólicas utilizan este diseño debido a la obtención de una mayor eficiencia, no obstante, el desgaste en las palas suele ser mayor debido a una exposición más directa y violenta a las corrientes de aire.

En el caso de los aerogeneradores a sotavento disponen su rotor hacia donde las corrientes de aire se dirigen, de manera que dispone de una mayor protección frente al viento y reduce la carga dinámica en las propias palas, prolongando su vida útil. Sin embargo, la eficiencia en la producción energética sufre una reducción inevitable, pues el viento se ve alterado al entrar en contacto con la torre previamente.

Otra de las grandes ventajas de esta disposición es que estos aerogeneradores pueden ser contruidos sin la necesidad de un sistema de orientación, pues el rotor se posicionará de forma pasiva siguiendo la dirección del viento. Desgraciadamente, esta ventaja no es una técnica que pueda ser utilizada en ámbitos de grandes potencias, pues al no disponer de sistema de orientación, no podría solucionarse el inconveniente de la torsión del cableado, el cual será abordado más adelante, así como los diferentes sistemas de orientación utilizados.

En general, para la generación de energía eléctrica a gran escala conviene escoger la opción del rotor a barlovento, gracias a la elevada eficiencia productiva y el uso de un sistema de orientación activo.

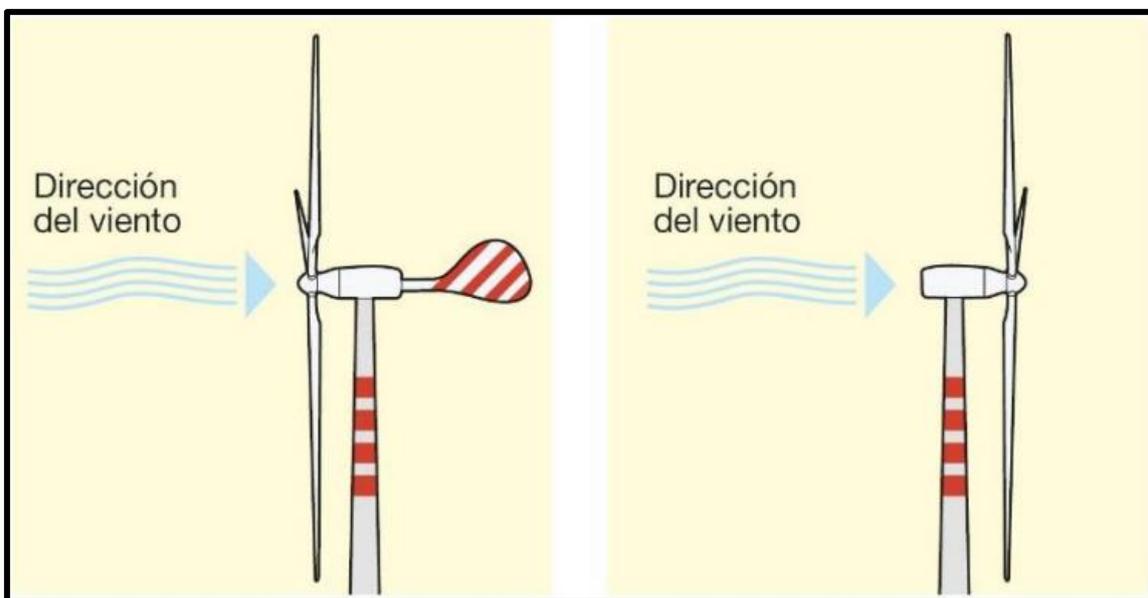


Figura 3.10. Rotor a barlovento y sotavento [10]

### 3.5.5. Caja multiplicadora o accionamiento directo/Tipología tecnológica

Actualmente, existe una decisión más extendida a la hora de diseñar aerogeneradores que funciona como método de clasificación, la inclusión o eliminación de la caja multiplicadora.

#### 3.5.5.1. Turbina eólica con caja multiplicadora

En esta tipología, cuya primera aparición data de 1970, la rotación de las aspas es reducida (entre 8 y 30 rpm), de modo que se emplea una caja multiplicadora, colocada entre el rotor de velocidad reducida y el generador de alta velocidad, para alcanzar los valores de rotación adecuados antes de alimentar al generador.

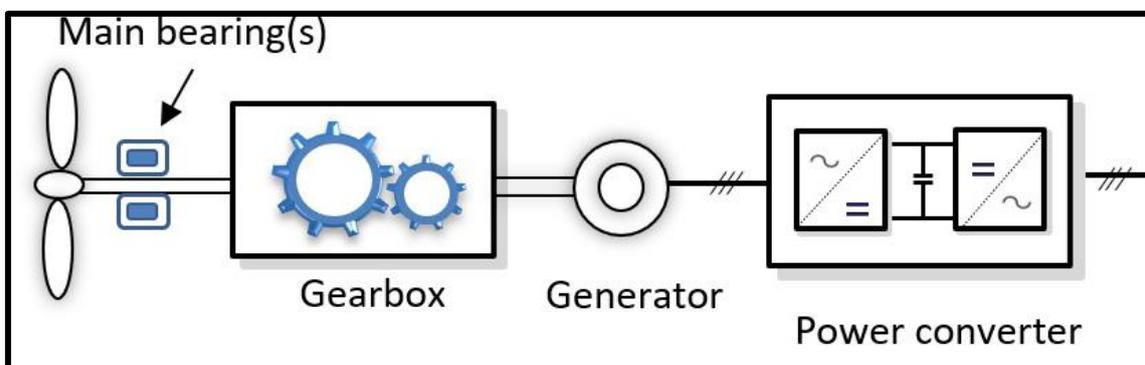


Figura 3.11. Esquema de la configuración con caja multiplicadora [11]

Entre las ideas de mejorar esta tecnología, destaca el desarrollo de cajas multiplicadores con menos etapas, obteniendo así menores pérdidas en el proceso y máquinas más sencillas de mantener y reparar.

#### 3.5.5.2. Turbina eólica sin caja multiplicadora o *direct-drive*

Este tipo de turbina eólica fue introducida en 1991 y es conocida como la turbina eólica de accionamiento directo con velocidad variable. En este caso, un generador síncrono es directamente alimentado por el rotor, siendo sus velocidades equivalentes debido a la conexión directa.

Para los casos donde la velocidad sea demasiado baja, los fabricantes colocan varios polos magnéticos en el generador, de modo que se logra alcanzar la alta frecuencia de salida necesaria.

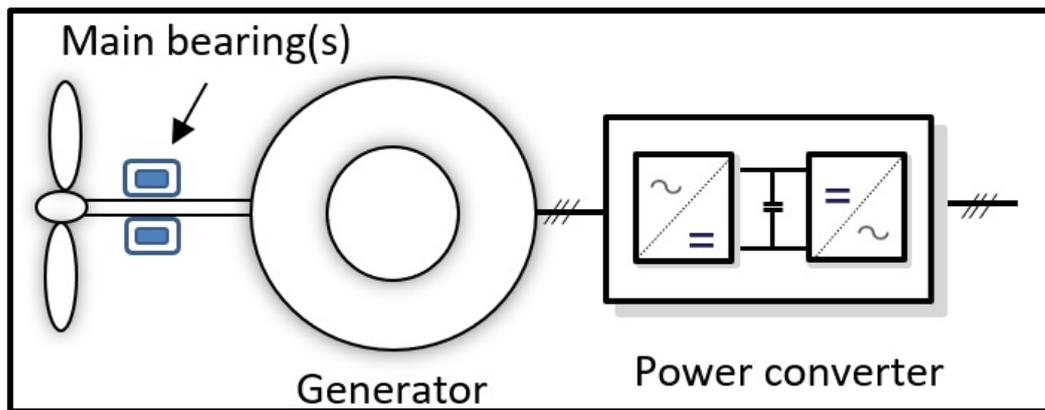


Figura 3.12. Esquema de la configuración de accionamiento directo [12]

Principalmente, existen dos categorías de generadores dentro de estas turbinas: generadores síncronos eléctricamente excitados y los de imanes permanentes. Aunque los primeros no necesitan tierras raras para su fabricación, los de imanes permanentes tienen muchas ventajas, tales como una mayor eficiencia, así como un peso reducido.

A pesar de que hace años el coste y el peso de estas turbinas causaba que no fuesen consideradas como una alternativa atractiva, los avances en los imanes y en la eficiencia de los generadores han hecho posible un modelo de accionamiento directo mucho más asequible y ligero.

En el siguiente apartado se ahonda en el funcionamiento y diseño de los diferentes generadores utilizados en la fabricación de aerogeneradores.

### 3.5.6. Sistema generador de la turbina eólica

Los aerogeneradores también pueden ser clasificados en función de la configuración o tecnología utilizada para la conversión de la energía mecánica en eléctrica. Específicamente, según el tipo de generador seleccionado e implementado en su diseño.

Estos generadores pueden clasificarse en síncronos y asíncronos. En el caso de los primeros, entregan una corriente eléctrica con una frecuencia constante y sincronizada con el giro de su rotor. Este efecto es el resultado de la generación de un campo magnético que gira a la misma velocidad que el propio rotor. Este tipo de generadores es muy utilizado en ámbitos de altas potencias, como centrales térmicas o hidroeléctricas.

Un generador asíncrono, conocido también como generador de inducción, produce una corriente eléctrica mediante la inducción electromagnética en el rotor. En este caso, el campo magnético del estator gira a una velocidad constante, pero el rotor gira a una velocidad ligeramente inferior. El generador asíncrono es utilizado comúnmente en aplicaciones de baja y media potencia, como en aerogeneradores o pequeñas centrales hidroeléctricas.

Debido a sus diferencias, la conexión a la red eléctrica varía entre los dos tipos de generador. Para la conexión de un generador síncrono es necesario sincronizar la frecuencia y la fase del voltaje de este con la propia red, haciendo uso de un regulador de velocidad que ajusta el giro del rotor para coincidir con la frecuencia de la red eléctrica. En el momento en que la frecuencia y la fase están sincronizadas, se cierra el interruptor de conexión y se inyecta la energía generada a la red.

Por otra parte, la conexión a la red de un generador asíncrono es más sencilla, pues no necesita un proceso de sincronización, sino que se conecta mediante un convertidor de frecuencia y un sistema de control de potencia. Dicho convertidor transforma la energía generada en una corriente eléctrica de frecuencia y fase compatibles con la red eléctrica, mientras que el sistema de control de potencia se encarga de que se cumplan los requisitos de operación y seguridad.

En resumen, la conexión de un generador síncrono requiere un mayor control y precisión para poder garantizar una operación segura y eficiente, mientras que el generador asíncrono es más simple y flexible en cuanto al control de la potencia generada.

Antes de ahondar en las clasificaciones dentro de los generadores síncronos y asíncronos para su uso en turbinas eólicas, debemos recordar la existencia tanto de los modelos de velocidad fija como variable, pues esto afectará a la decisión del generador a utilizar, ya que las estrategias de control y el esquema eléctrico deberán ajustarse adecuadamente.

- **Turbinas eólicas con generador asíncrono:**

- **Generador asíncrono de “jaula de ardilla”:** denominado así por su forma física característica, se trata de un núcleo de hierro constituido por una serie de placas separadas por un espacio minúsculo, dicho núcleo posee ranuras u orificios de forma que se puedan introducir un conjunto de barras de aluminio o cobre. Dichas barras están flanqueadas y unidas por unos anillos en sus extremos, cerrando el circuito eléctrico. Gracias a la inclinación de las barras se disminuyen dos molestos efectos, el zumbido electromagnético y las vibraciones del motor.

Este tipo de generador puede emplearse tanto para turbinas eólicas de velocidad fija como variable.

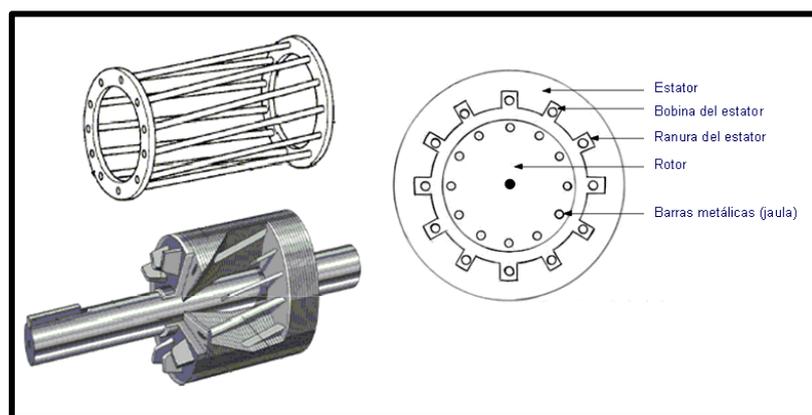


Figura 3.13. Rotor con “jaula de ardilla” [13]

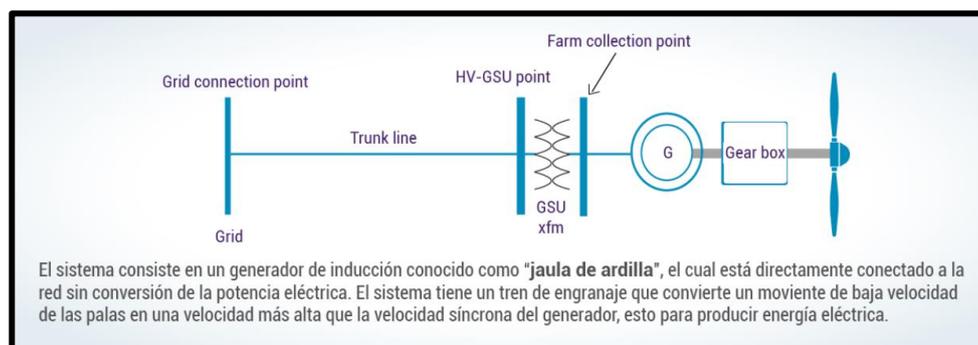


Figura 3.14. Configuración de turbina eólica con “jaula de ardilla” [14]

- **Generador asíncrono con control dinámico de deslizamiento:** se trata del sistema más sencillo dentro de las turbinas de velocidad variable, en este caso el rotor está bobinado y se lleva a cabo un control del deslizamiento a través de la manipulación de una resistencia soldada al circuito del rotor.

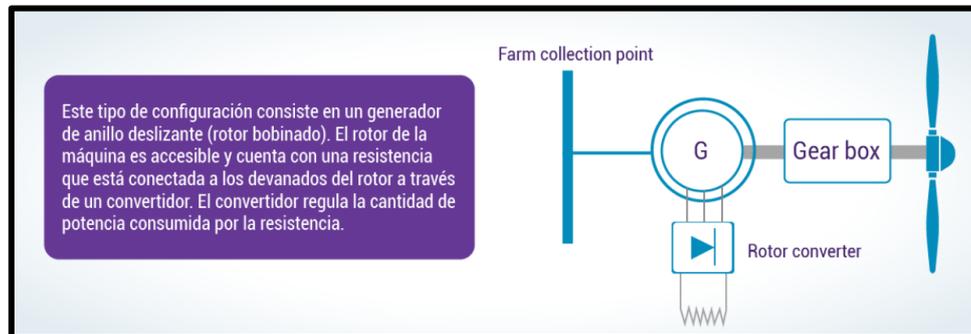


Figura 3.15. Configuración de turbina eólica con generador de anillo deslizante [15]

El rotor en este tipo de generador se diferencia del utilizado en uno de jaula de ardilla, principalmente porque en lugar de estar formado por un conjunto de barras unidas por anillos, está constituido por una serie de cables conductores bobinados dentro de las ranuras practicadas en la superficie del rotor.

Posteriormente, los anillos rozantes cierran el circuito para cada grupo de conductores y permiten el contacto con las escobillas, extrayendo la energía generada para su posterior distribución. Sin embargo, este último elemento, las escobillas, están expuestas a elementos rotatorios con grandes velocidades, causando un desgaste severo en las mismas, por lo que este tipo de rotores necesitan un mantenimiento más elevado en comparación con el caso de la jaula de ardilla.



Figura 3.16. Anillos rozantes en un rotor bobinado de un generador asíncrono [16]

- **Generador asíncrono doblemente alimentado (*Doubly-fed Induction Generator, DFIG*)**: son máquinas de inducción asíncronas diseñadas para posibilitar la extracción de energía eléctrica tanto del devanado del estator como el del rotor, gracias al uso de inversores bidireccionales (*back to back inverters*). Estos dispositivos pueden controlar el flujo de potencia bidireccionalmente entre la red eléctrica y el rotor del generador.

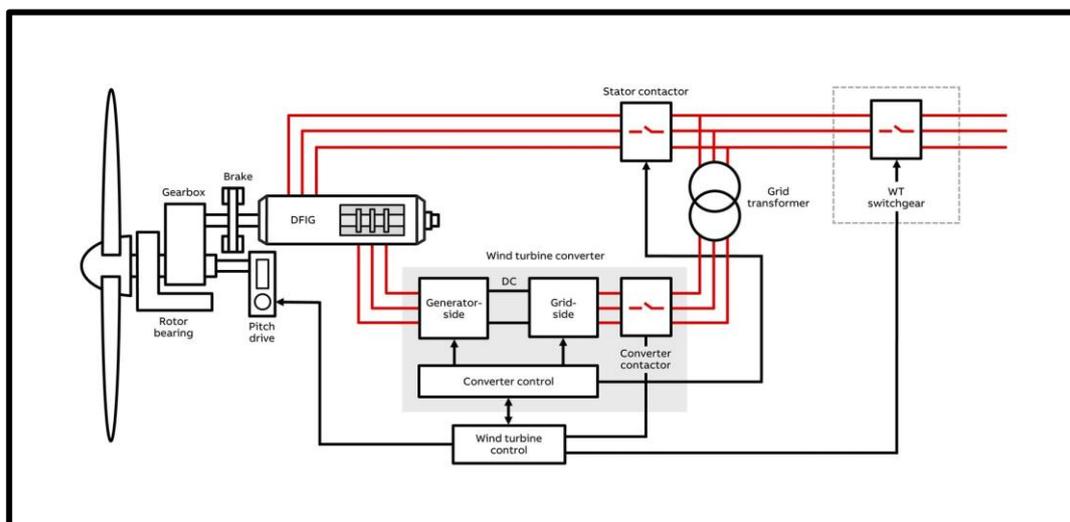


Figura 3.17. Generador asíncrono doblemente alimentado en un aerogenerador [17]

El sistema está básicamente compuesto por dos convertidores electrónicos CA/CC reversibles. Aquel que se encuentra conectado al rotor posibilita la regulación de la fase, frecuencia y amplitud de la tensión aplicada al propio rotor, permitiendo la regulación del deslizamiento en un rango muy amplio, incluso alcanzando velocidades por debajo de la de sincronismo.

Al mismo tiempo, el que está conectado a la red eléctrica, permite regular la potencia, tanto activa como reactiva, suministrada a la red desde el generador. El estator del generador se conecta directamente a la red eléctrica con el uso de triodos para corriente alterna (TRIAC).

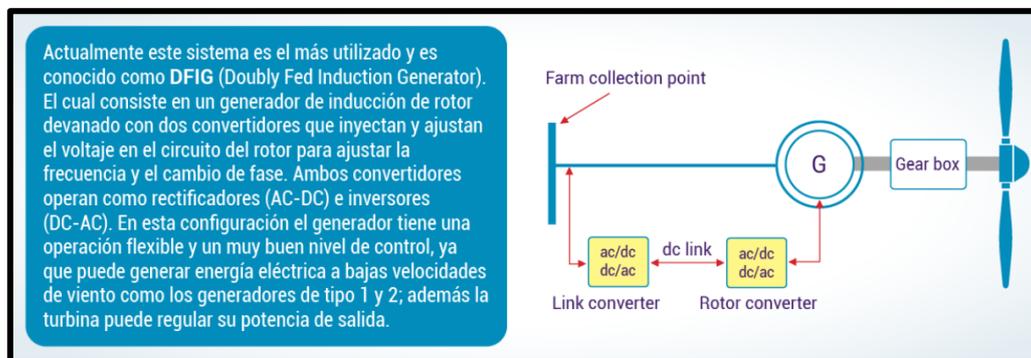


Figura 3.18. Configuración de turbina eólica con un generador asíncrono doblemente alimentado [18]

Hoy en día, las turbinas eólicas con generadores DFIG están muy extendidas, pues los dispositivos electrónicos de potencia empleados en los DFIG sólo tienen que procesar una pequeña parte de la potencia de salida del generador, es decir, la potencia que se suministra a o desde los devanados del rotor, que normalmente es de entre el 25% y el 30% de la potencia nominal del generador.

Por lo tanto, los mencionados dispositivos electrónicos de potencia de las turbinas eólicas de velocidad variable que utilizan DFIG suelen tener alrededor del 25%-30% del tamaño de los dispositivos de potencia empleados para generadores síncronos trifásicos de tamaño comparable, esto disminuye el coste y las pérdidas de potencia de los generadores DFIG. También se mejora la respuesta a los requisitos de la red.

El convertidor sólo tiene que proporcionar energía de excitación, mientras que los convertidores CA/CC de los generadores síncronos tienen que transmitir el 100% de la potencia nominal de salida del generador.

- **Turbinas eólicas con generador síncrono:**

- **Generador síncrono con rotor bobinado:** se trata, en esencia, de la instalación de un elemento interior giratorio, denominado como rotor o inductor (formado por un núcleo magnético y bobinados de conductores) y una estructura fija conocida como estator o inducido. Mediante el suministro de una corriente continua, se excita el rotor creando un campo magnético. Es a través del giro del rotor, con lo que se induce en los devanados del estator una fuerza electromotriz.

Como se explicó anteriormente, en el caso de un generador síncrono, será necesaria la implantación de un sistema de regulación y adaptación de la corriente eléctrica generada para su adecuada inyección en la red eléctrica.

- **Generador síncrono de imanes permanentes:** la estructura es exactamente la misma que en el caso anterior, pero se sustituye el bobinado de los conductores del rotor por la implantación de imanes permanentes.

Este tipo de generador no requiere la instalación de anillos rozantes, escobillas o sistema de excitación externo para el rotor, lo que se traduce en una mayor sencillez y un mantenimiento muy reducido del rotor.



Figura 3.19. Rotor de imanes permanentes [19]

### 3.5.7. Sistema de orientación

Los aerogeneradores emplean un sistema de orientación con el fin de posicionar el rotor de forma óptima con respecto a las corrientes de aire y, de esa forma, extraer toda la energía posible del recurso eólico.

Actualmente pueden distinguirse dos grandes grupos dentro de los sistemas de orientación, los pasivos y activos.

- **Sistema de orientación pasivo:** cuentan con elementos mecánicos que hacen uso de las propias fuerzas aerodinámicas para ejercer las maniobras de orientación necesarias. Dentro de este grupo resaltan diferentes sistemas.
  - **Orientación del rotor mediante timón de cola:** los timones o veletas pueden colocarse en la prolongación del eje del rotor, con la tarea de orientar la turbina eólica en la dirección del viento incidente. Generalmente, están formadas por una superficie plana de material metálico o de madera, de forma que la presión ejercida por el viento cuando no están orientadas en paralelo con el mismo provoque como resultado un giro de orientación.

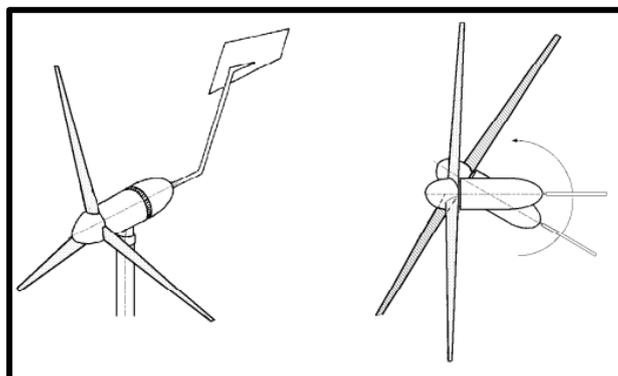


Figura 3.20. Sistema de orientación del rotor mediante timón de cola [20]

- **Orientación del rotor por efecto de rotores auxiliares:** sistema basado en la colocación de pequeños rotores auxiliares en un plano ortogonal al del rotor principal del aerogenerador. De esta forma, cuando la turbina eólica no esté en la orientación adecuada, se accionarán las palas de los rotores auxiliares, provocando el giro de la máquina hacia la posición correcta.

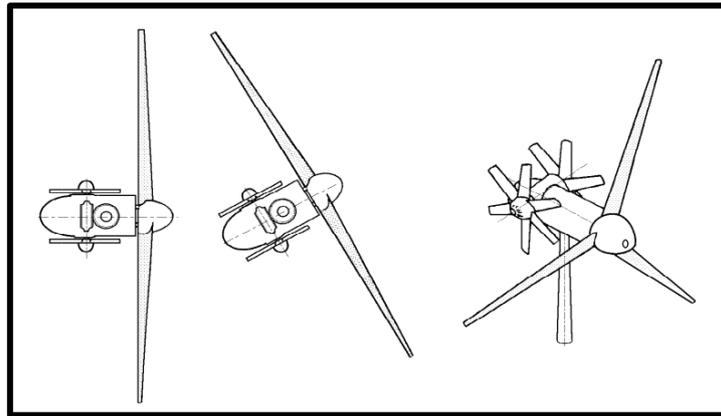


Figura 3.21. Sistema de orientación del rotor por efecto de rotores auxiliares [21]

- **Orientación del rotor por efecto de la conicidad:** un aerogenerador puede orientarse de forma autónoma, sin la necesidad de elementos adicionales, si su rotor es colocado a sotavento de la torre, de esta manera el viento incidirá antes en la góndola que en el rotor. Este sistema generará una interferencia al situarse el rotor detrás de la torre, por lo que es imperativa la construcción de góndolas y torres que presenten menores resistencias a las corrientes de aire.

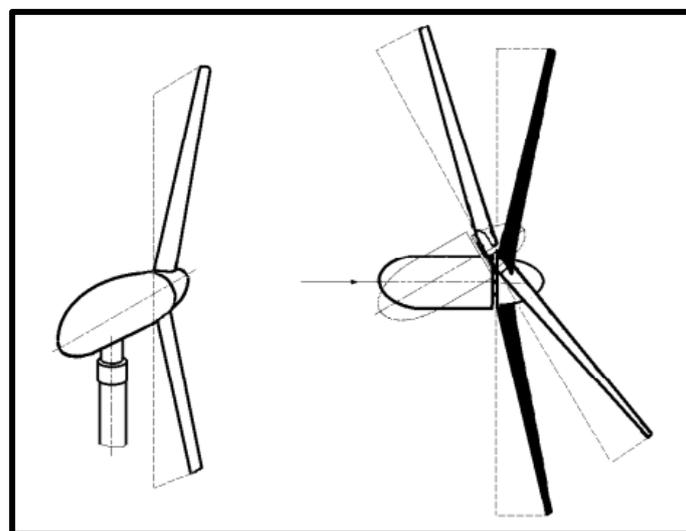


Figura 3.22. Sistema de orientación del rotor por efecto de la conicidad [22]

- **Sistema de orientación activo:** hacen uso de sistemas electrónicos y mecánicos mediante los cuales orientan el rotor de forma directa con respecto a la dirección del viento, todo gracias a la información recogida por el conjunto veleta-anemómetro, situado en el techo de la góndola.

Existen dos elementos clave que deben tenerse en cuenta a la hora del reposicionamiento del rotor, el mecanismo de orientación y el contador de torsión de los cables. Al tratarse del sistema de orientación más extendido y, por tanto, el que estudiaremos, sus componentes involucrados serán analizados más adelante.

#### 4. Perfil de aerogenerador escogido

Para la elaboración del estudio de evaluación de riesgos y el plan de mantenimiento, se ha escogido el perfil de aerogenerador más utilizado y extendido actualmente alrededor del mundo: turbina eólica de eje horizontal (HAWT) de tres palas (tripala) con caja multiplicadora, generador asíncrono doblemente alimentado (DFIG) y un sistema de orientación activo.

Es esta tipología escogida, junto al uso del modelo de accionamiento directo con generador síncrono de imanes permanentes, las que usualmente emplean las grandes empresas como base para continuar mejorando y creando modelos de mayor eficiencia con potencias nominales más altas.



Figura 4.1. Aerogenerador de eje horizontal tripala [23]

##### 4.1. Elementos del aerogenerador escogido

Antes de ahondar en el estudio de riesgos y el mantenimiento implicado en el perfil de aerogenerador escogido, es necesario enumerar y explicar cada uno de los elementos que forman esta maquinaria.

Desde un punto de vista macroscópico, los principales componentes pueden resumirse en los siguientes:

- Cimentación
- Torre
- Góndola
- Rotor:
  - Palas
  - Buje

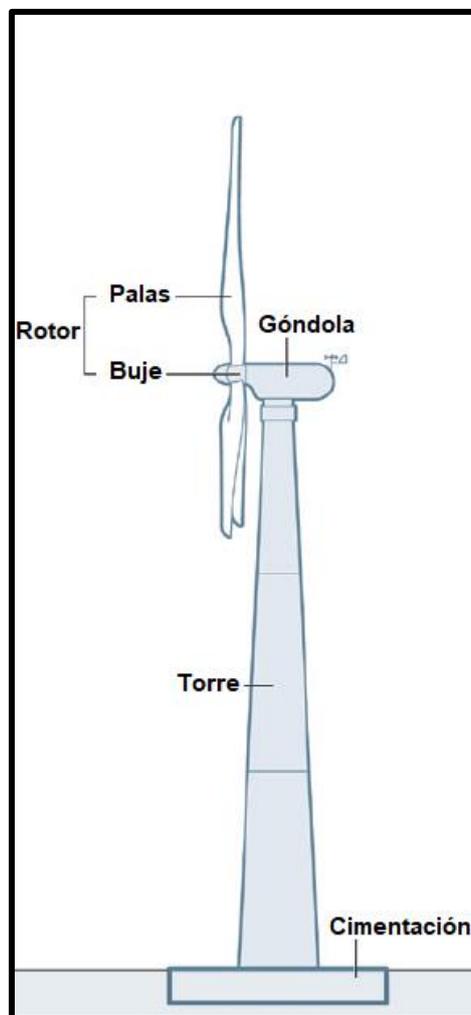


Figura 4.2. Componentes principales de un aerogenerador de eje horizontal tripala

#### 4.1.1. Cimentación

La principal y única misión de la cimentación es la de garantizar la estabilidad del aerogenerador a lo largo de toda su vida útil, encargándose de transmitir y repartir las cargas que actúan en la estructura al terreno.



Figura 4.3. Construcción de la cimentación para un aerogenerador [24]

La fuerza vertical que actúa sobre los cimientos es principalmente la carga muerta de la torre, la góndola y las palas del rotor. No obstante, el viento también puede dar lugar a cierta fuerza vertical.

Las cargas más significativas sobre la cimentación son las fuerzas horizontales ejercidas por el viento, las cuales, gracias a la gran altura de las torres de los aerogeneradores, generan un momento flector de gran importancia en la base.

Las torres suelen ser prefabricadas, con forma troncocónica y conectadas a la cimentación mediante un elemento conocido como interfaz, que en general suele ser un anillo/tubo de acero que se encuentra insertado en el hormigón de la cimentación.

Otro ejemplo de interfaz es el de la jaula de pernos, donde varios de estos elementos de gran longitud son enterrados en el hormigón, proporcionando la sustentación necesaria para la estructura.

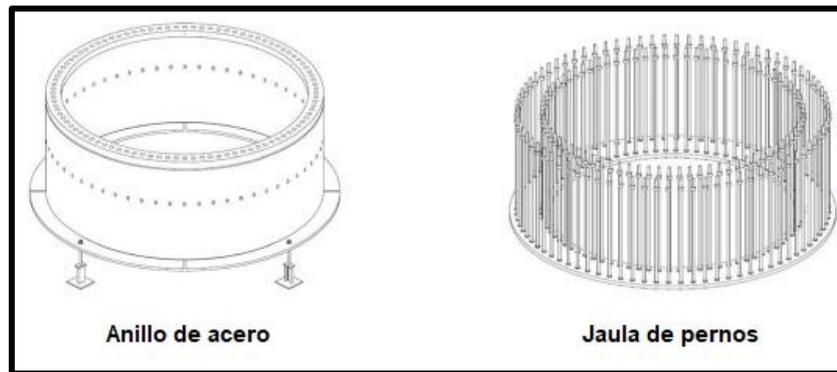


Figura 4.4. Tipos de interfaz en la cimentación de aerogeneradores [25]

A su vez, la interfaz está anclada al terreno por uno de los siguientes métodos:

- Zapatas de hormigón enterradas que anclan la estructura al terreno mediante el efecto de la gravedad.
- Anclajes llevados a cabo en terrenos compatibles.
- Uso de cimentaciones prefabricadas.



Figura 4.5. Cimentación prefabricada para torre eólica [26]

#### 4.1.2. Torre

La función de la torre es la de soportar el peso de la góndola y el rotor, así como garantizar la altura de trabajo necesaria para sus objetivos de aprovechamiento del recurso eólico.

Suelen tener forma de cono truncado hueco, con un diámetro creciente hacia la base (con esta geometría se aumenta la resistencia y ahorra costes de material). Las torres de los grandes aerogeneradores suelen estar fabricadas con acero u hormigón.



Figura 4.6. Montaje de torre tubular de acero para un aerogenerador [27]

Además, existe la posibilidad de utilizar torres de celosía, las cuales se fabrican empleando perfiles de acero soldados y, aunque comparativamente su coste es menor, el impacto visual que generan es mucho más acentuado.



Figura 4.7. Aerogenerador con torre de celosía [28]

Las opciones más utilizadas en la industria eólica para las grandes potencias son las torres tubulares de acero u hormigón, fabricadas y transportadas en secciones para, posteriormente, ser acopladas entre ellas mediante el uso de bridas y pernos.

### 4.1.3. Góndola

La góndola es el compartimento donde tiene lugar la conversión de la energía mecánica, producida por el movimiento de las palas, en energía eléctrica. Se encuentra situada en la zona más alta de la torre y, mediante la corona giratoria instalada en su base, puede posicionarse en la dirección más eficiente con respecto al viento, intentando aprovechar al máximo nivel posible la energía cinética entregada por las corrientes de aire.

Los principales componentes de la góndola serían los siguientes: eje lento y de alta velocidad, multiplicadora, generador, transformador (generalmente se instalan en otras zonas del aerogenerador como la base de la torre o el exterior, pero existen modelos que lo incluyen dentro de la góndola), sistema hidráulico, sistema de orientación, sistema de freno, sistema de bloqueo, sistema de lubricación/refrigeración y sistema de control.

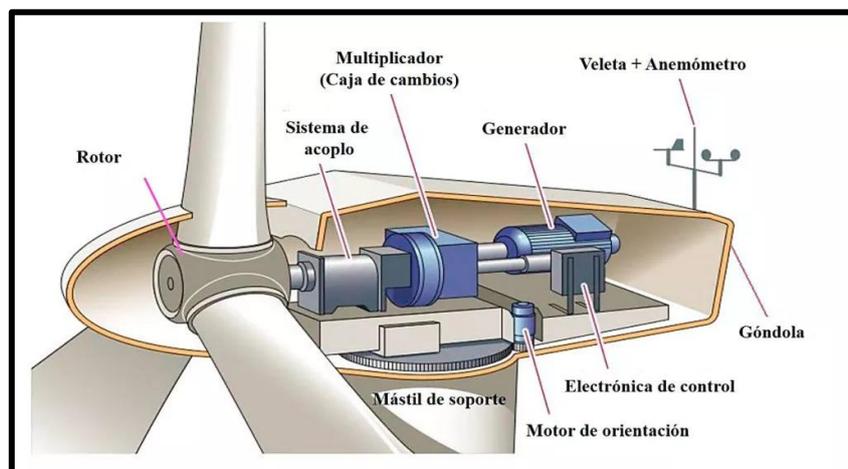


Figura 4.8. Elementos de la góndola de una turbina eólica [29]

#### 4.1.3.1. Eje lento y de alta velocidad

El eje lento o de baja velocidad es aquel que conecta el buje del rotor a la multiplicadora, se trata de una pieza tubular de acero macizo de gran diámetro, que suele girar a velocidades dentro del intervalo de las 22 y las 64 revoluciones por minuto (rpm).

No obstante, un generador eléctrico precisa de velocidades de giro en torno a un valor de 1500 rpm, por lo que es necesaria la acción de una caja multiplicadora para aumentar la velocidad de giro a los niveles necesarios para la generación de energía eléctrica.

#### 4.1.3.2. Multiplicadora

Colocada entre el eje de baja y alta velocidad. Haciendo uso de un sistema de engranajes, se encarga de la conversión entre la potencia de alto par torsor, obtenida a través del eje lento, y la potencia de bajo par torsor, vinculada al eje de altas velocidades, utilizada en la entrada del generador.



Figura 4.9. Multiplicadora de engranajes de árboles paralelos [30]

#### 4.1.3.3. Polipasto/Puente grúa

En el interior de la góndola de algunos modelos, se suele instalar un polipasto automatizado, un dispositivo utilizado para la elevación y descenso de cargas pesadas a lo largo de la torre del aerogenerador. Se trata de una estructura metálica fijada a la superficie del habitáculo.

#### 4.1.3.4. Sistema de salvamento y puerta lateral de evacuación

En la mayoría de las turbinas eólicas existe una salida lateral alternativa con acceso a un sistema de evacuación para casos de emergencia. Este medio de evacuación podría ser una escalera y/o un dispositivo manual/automatizado de descenso, siempre complementado con suficientes puntos de anclaje para hacer uso del arnés de seguridad para caídas de altura.

#### 4.1.3.5. Generador

Debido a su uso extendido, se ha escogido como dispositivo de conversión de energía mecánica en electricidad para el perfil de estudio, al generador asíncrono doblemente alimentado o *Doubly-fed Induction Generator* (DFIG).

#### 4.1.3.6. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico lleva a cabo un control constante del ángulo de las palas (*blade pitch*) durante su modo de operación normal, encargándose de colocarlas en su posición de seguridad (posición en bandera) en situaciones de fallo eléctrico o falta de presión en el sistema. También se responsabiliza de la activación del freno de disco del eje de alta velocidad (siempre que el modelo disponga de este sistema) en los modelos que carecen de freno eléctrico.

Por otra parte, si las rachas de viento son muy intensas o turbulentas, el circuito hidráulico, en lugar de detener el giro de las palas por completo, podría posicionar el ángulo de estas de forma que la incidencia ejerza presiones menores en el área de exposición de las palas, disminuyendo la velocidad de giro y ejerciendo menores esfuerzos sobre el propio rotor.

Este sistema hidráulico está formado por un conjunto de cilindros que emplean un gas inerte a presión, en general nitrógeno (N<sub>2</sub>), además de una red de conductos a presión que contienen un fluido hidráulico.

#### 4.1.3.7. Sistema de orientación

En este caso particular, el enfoque se encuentra en un sistema de orientación activo formado, como se ha mencionado anteriormente, por un grupo o mecanismo de orientación y un contador de torsión de los cables.

- **Mecanismo de orientación:** formado por un sistema de motores eléctricos, multiplicadores y una corona de giro, el mecanismo se encarga de llevar a cabo el movimiento de posicionamiento, activado por un controlador electrónico que realiza lecturas de la posición de la veleta múltiples veces por segundo mientras se lleva a cabo el giro.

- **Contador de la torsión de los cables:** el cableado realiza un recorrido completo desde el interior de la góndola, conectando todos sus elementos, hasta la base interna de la propia torre sobre la que se sostiene. Durante el procedimiento de orientación, existe el riesgo de que los cables sufran condiciones de torsión por encima de lo admisible, por lo tanto, los aerogeneradores cuentan con un contador de la torsión en el cableado, el cual provoca una llamada de aviso al sistema de control cuando sea necesario aliviar la torsión de los cables.

En ciertos modelos, como una capa de seguridad adicional, se incorpora un interruptor de cordón que se activa cuando la torsión es demasiado elevada.



Figura 4.10. Interruptor de límite para las transmisiones de *yaw* [31]

#### 4.1.3.8. Sistema de freno

Los aerogeneradores disponen de dos tipos de sistemas de freno: uno aerodinámico y otro mecánico. El primero consiste en el uso del grupo hidráulico para girar las palas del rotor 90°, de manera que no ofrezcan resistencia al viento (posición en bandera), el aerogenerador cesará su movimiento después de un par de vueltas con un ritmo suave sin el desgaste de piezas de frenado.

Por otro lado, el sistema mecánico funciona como apoyo para el aerodinámico y actúa como sistema de parada a la hora de realizar los procesos de mantenimiento. Se encuentra monitorizado de manera constante para garantizar un funcionamiento óptimo en cualquier momento. Generalmente, está formado por un disco o una pista de

frenado con zapatas hidráulicas, actuando sobre el eje rápido a la salida de la multiplicadora.

El sistema de freno mecánico siempre será utilizado en los casos donde sea necesario que un operario acceda al interior del buje. Sin embargo, para realizar operaciones de mantenimiento se deberá activar posteriormente el sistema de bloqueo.

#### **4.1.3.9. Sistema de bloqueo**

Generalmente, nunca se bloqueará activamente el movimiento del rotor, sino que se le permitirá girar libremente a una velocidad reducida. La única situación excepcional sería en el caso de efectuar trabajos de mantenimiento, haciéndose necesaria la activación del sistema o sistemas de bloqueo.

Dependiendo del modelo del aerogenerador, existen dos tipos de sistema de bloqueo:

- **Sistema de bloqueo del eje lento:** se basa en la inserción manual de uno o varios bulones en orificios situados en el rotor, de manera que se obtiene una parada total bloqueando el rotor con la góndola.
- **Sistema de bloqueo del eje rápido:** la idea es la misma que en el caso del bloqueo del eje lento, con la diferencia de que los bulones son introducidos en orificios practicados en un disco de freno que forma parte del eje rápido.

Algunos modelos emplean no sólo uno, sino ambos sistemas para bloquear sus rotores.

#### **4.1.3.10. Sistema de lubricación y refrigeración**

Normalmente, se instala un sistema de lubricación y refrigeración independiente para la multiplicadora, el cual aplica un lubricante (generalmente aceite con ciertos aditivos) para reducir la fricción entre los engranajes de su interior, mejorando la eficiencia y previniendo un mayor desgaste de los componentes. Como beneficio adicional, el lubricante disuelve partículas indeseadas y ayuda a evitar la corrosión (efecto especialmente útil si se empleara multiplicadora en parques eólicos en alta mar).

Debido al contacto con los engranajes en funcionamiento, el lubricante se calienta y necesita ser enfriado para posibilitar su reutilización, es aquí donde entra en juego el papel del sistema de refrigeración. Se hace uso de una bomba para hacer pasar el lubricante, utilizado en la multiplicadora, a través de un intercambiador de calor y enviarlo de regreso.

Incluso en los modelos de aerogeneradores de accionamiento directo se emplean sistemas de lubricación y refrigeración, pues a pesar de la ausencia de multiplicadora, existen ciertos elementos en común con aquellos que cuentan con caja multiplicadora, como los rodamientos del eje del rotor, que necesitan su implantación.

#### **4.1.3.11. Sistema de control**

Los sistemas de control implementados se encargan de analizar la información en tiempo real y ejecutar las acciones pertinentes para garantizar un funcionamiento correcto de la turbina eólica. De esta forma, recibe datos constantes sobre: la dirección e intensidad del viento gracias al conjunto veleta-anemómetro, la potencia actual generada por la turbina, avisos sobre el estado actual de la curva de potencia eléctrica de la red o el valor de torsión del cableado.

Con los datos recibidos, los controladores electrónicos emplean los actuadores de otros sistemas para garantizar la estabilidad y la máxima eficiencia de la turbina eólica, llevando a cabo acciones como: dirigir el rotor hacia la dirección del viento mediante el sistema de orientación, alterar el ángulo de las palas para controlar la velocidad de rotación, implementar la posición en bandera y/o activar el sistema de freno en caso de emergencia o tormenta, rotar la góndola mediante la corona de giro para aliviar la torsión de los cables, así como cualquier acción necesaria para solucionar cualquier incidencia u optimizar la producción energética.

Además, gracias al sistema de sensores conectado a los controladores, la maquinaria es capaz de enviar avisos si se diera el fallo de alguno de sus componentes para conseguir una reparación o sustitución lo más rápido posible.

#### 4.1.4. Rotor

El rotor es, probablemente, la parte más importante del aerogenerador, pues es el encargado de recibir, aprovechar y transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. En general, el rotor está formado por dos elementos: las palas y el buje.

##### 4.1.4.1. Palas

Su objetivo es la conversión del movimiento lineal de las corrientes de aire en un movimiento de rotación, dando lugar al giro del rotor y del eje asociado al mismo. La gran mayoría de las palas son fabricadas con poliéster o epoxy reforzado con fibra de vidrio y como material de refuerzo se emplea fibra de carbono o fibra de aramida, comúnmente conocida como kevlar. Sin embargo, se investiga el uso alternativo de otros materiales como compuesto de madera, madera-epoxy o madera fibra-epoxy.

El proceso de fabricación de las palas suele constar de cuatro pasos:

#### 1. Fabricación de la viga

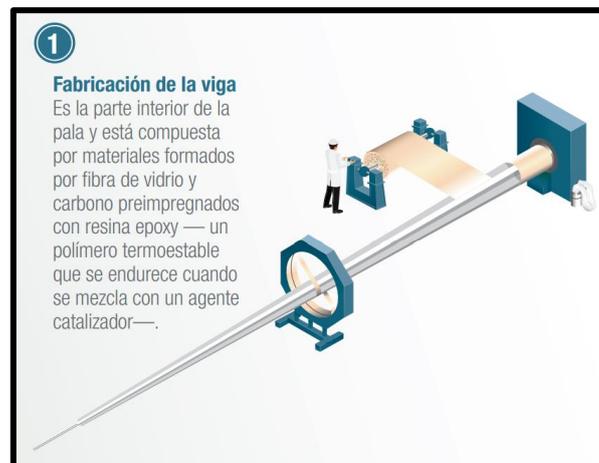


Figura 4.11. Fabricación de la viga de la pala [32]

## 2. Fabricación de las conchas

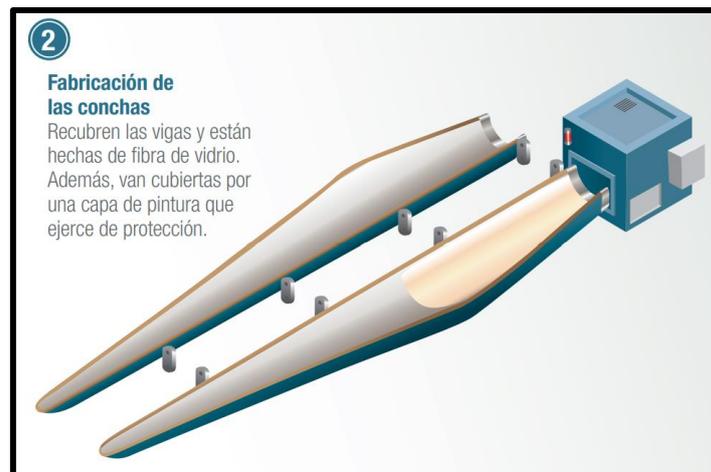


Figura 4.12. Fabricación de las conchas de la pala [33]

## 3. Ensamblaje y curado

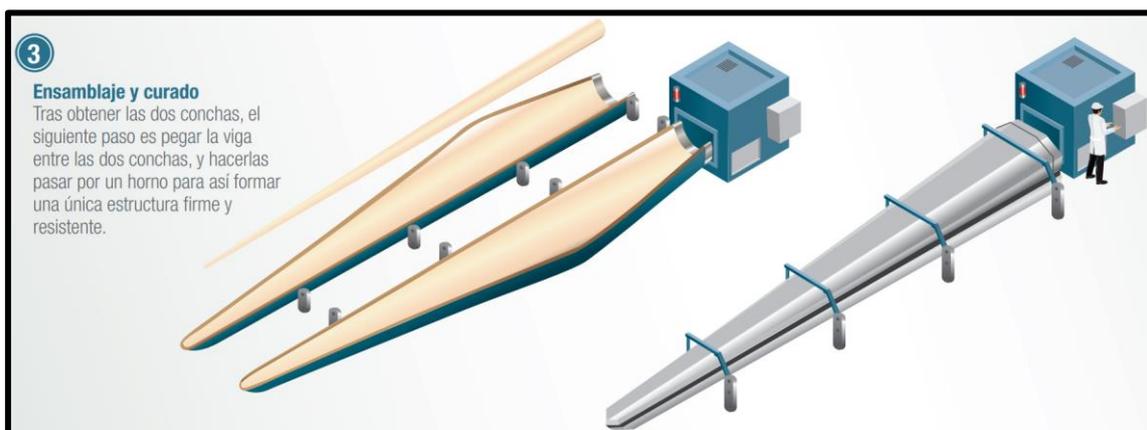


Figura 4.13. Ensamblaje y curado de la pala [34]

#### 4. Acabado



Figura 4.14. Acabado de la pala [35]

Las palas de un aerogenerador pueden llegar a medir más de 120 metros de longitud, de hecho, la empresa china Lianyungang Zhongfu Lianzhong Composites Group Co. Ltd. (LZ Blades) presentó la autoproclamada pala más larga del mundo, con una longitud de 123 metros.

Con respecto al funcionamiento de la rotación de las palas, este se basa, al igual que el ala de un avión, en el principio de sustentación. Aprovechando su forma curva y siguiendo el Principio de Bernoulli, el lado con mayor curvatura acelerará el fluido (aire) generando una zona de baja presión, mientras que en el lado opuesto se formará una zona de alta presión.

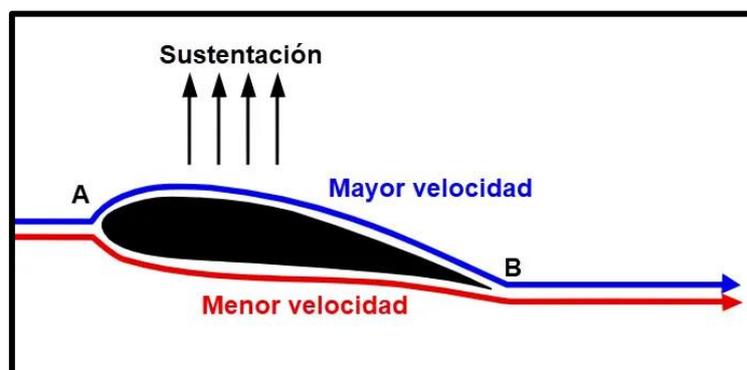


Figura 4.15. Principio de la sustentación [36]

Esta diferencia de presiones resultará en una fuerza de sustentación (aquella que propiciará el movimiento de rotación deseado), perpendicular al flujo de aire incidente, y una fuerza de resistencia (una fuerza inevitable que tendrá que ser absorbida por la torre y transmitida a la cimentación) que seguirá la dirección del flujo, la resultante de ambas será la fuerza conocida como fuerza aerodinámica.

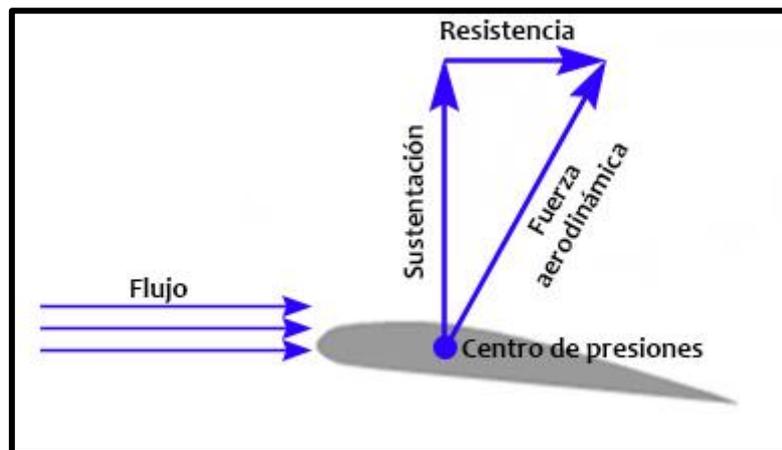


Figura 4.16. Resultante de la sustentación [37]

En general, las palas de los aerogeneradores son diseñadas con la forma necesaria para generar la máxima potencia con el mínimo coste de construcción. No obstante, los fabricantes siempre buscan desarrollar modelos más eficientes. Las constantes mejoras en este campo han dado lugar a nuevas turbinas eólicas más compactas, silenciosas y con la capacidad de generar energía eléctrica con menos recurso eólico. Siendo un ejemplo de esto, el descubrimiento que supuso en su día que, curvando ligeramente la pala, las turbinas pueden captar entre un 5% y 10% más de energía eólica y funcionar con mayor eficacia en zonas de vientos con bajas velocidades.

#### 4.1.4.2. Buje

El buje es el elemento que conecta las palas del rotor con el eje principal (eje lento) y permite que la energía cinética captada por las palas se transmita como energía mecánica a la caja multiplicadora, es decir, que actúa como el transmisor de la fuerza del viento.

En general, tiene forma de cono y es fabricado con materiales resistentes como el acero o la fibra de vidrio. En su interior alberga los motores que constituyen el sistema de cambio de paso o *pitch*, pudiendo alterar el ángulo de incidencia de las palas con respecto al viento.

En la punta del buje se encuentra instalado el elemento conocido como nariz, cuya tarea es la redireccionar las corrientes de aire, evitando la formación de turbulencias frente al rotor.



Figura 4.17. Bujes con y sin nariz almacenados para su transporte [38]

## 5. Plan de mantenimiento de un aerogenerador

### 5.1. Definición de mantenimiento industrial

- **Según AENOR-UNE:** “Acciones técnicas, administrativas y de gestión que se aplican sobre la maquinaria, equipamiento o instalaciones para asegurar y hacer eficiente la capacidad de un proceso industrial”.
- **Según AFNOR:** “Conjunto de acciones que permiten que un bien permanezca o se restablezca a un estado específico, o que aseguren un servicio determinado”.
- **En términos prácticos y según la Ingeniería de Mantenimiento:**
  1. Evitar que mi sistema se rompa.
  2. Arreglarlo si se rompe.
  3. Estudiar el estado de mi sistema para mejorarlo.

### 5.2. Tipos de mantenimiento. Definiciones

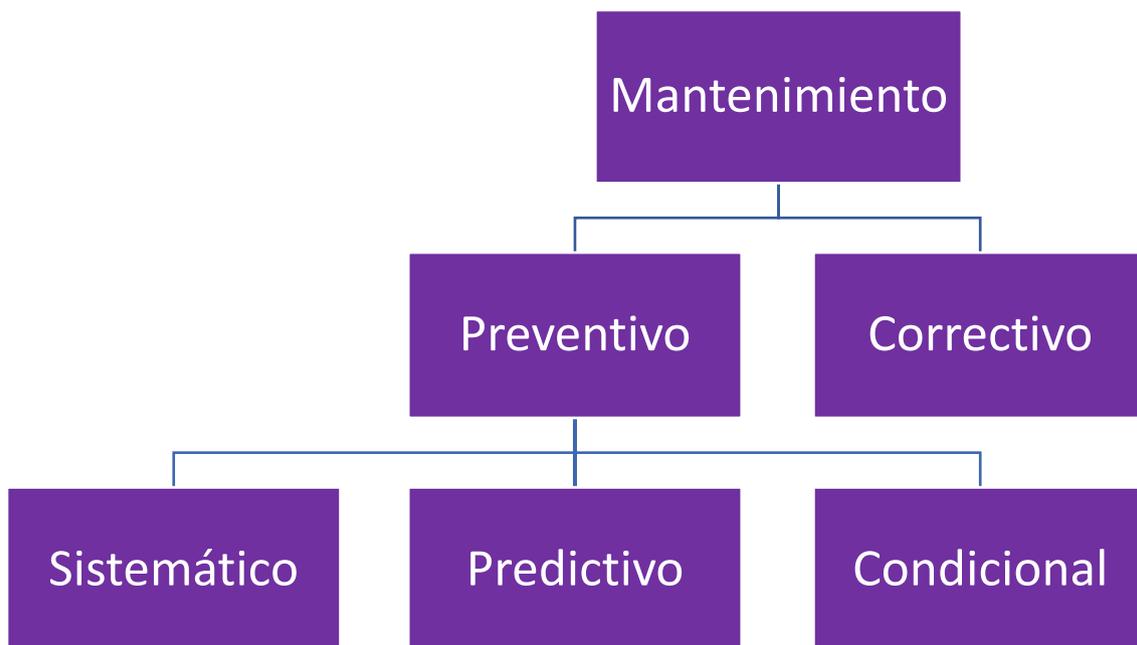


Figura 5.1. Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento correctivo:** conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los equipos para recuperar su normal funcionamiento. El objetivo de este tipo de mantenimiento es la devolución de una pieza averiada o equipo defectuoso a su estado de funcionamiento inicial.
- **Mantenimiento preventivo:** conjunto de tareas que tienen como objeto mantener el nivel de servicio determinado en los equipos.
  - **Sistemático:** el mantenimiento preventivo es de carácter sistemático cuando se fija un período de tiempo fijo en el que se realizan las labores de mantenimiento de manera periódica.
  - **Predictivo:** en el caso del predictivo, el mantenimiento está basado en la vigilancia del estado del equipo mediante la ejecución del análisis periódico de una variable de estudio, a través de la cual poder determinar el índice de degradación del equipo y la frecuencia necesaria de las operaciones de mantenimiento.
  - **Condiciona**l: este tipo es definido por la normativa europea como “el mantenimiento preventivo basado en el seguimiento del funcionamiento del activo y/o de los parámetros significativos de este funcionamiento integrando las acciones resultantes” (extracto de la norma NF EN 13306 X 60-319 de junio de 2011). En otras palabras, llevar a cabo la debida intervención sobre el equipo de trabajo cuando este muestre síntomas de necesitarlo.

Asimismo, el mantenimiento preventivo para el aerogenerador puede clasificarse de muchas otras formas, como por ejemplo según la tipología de las tareas involucradas.

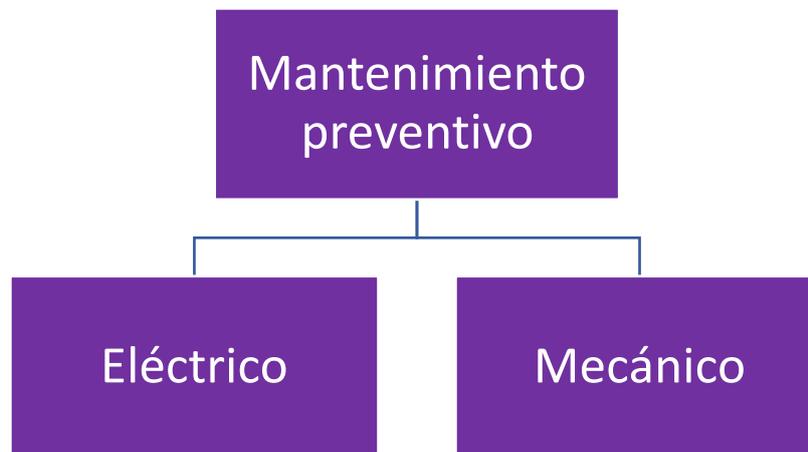


Figura 5.2. Tipos de mantenimiento preventivo según la tipología

- **Eléctrico:** se incluyen todas las actividades relacionadas con la comprobación de los circuitos eléctricos, el correcto aislamiento, sus debidas revisiones y la sustitución de los diferentes componentes según los tiempos fijados por la normativa y el plan de mantenimiento.
- **Mecánico:** esta categoría involucra y recopila todas las tareas de apriete de los componentes, así como la comprobación de roturas, desgastes y/o posibles holguras de los elementos del aerogenerador, como por ejemplo la corona de giro de la góndola.

### 5.3. Definición de un plan de mantenimiento

Un plan de mantenimiento se define como un conjunto de tareas, procedimientos, instrucciones técnicas, medios materiales y humanos para llevar a cabo los procesos de mantenimiento.

En otras palabras, y en oposición a lo que la mayoría suele pensar, no se trata sólo del listado de actividades y acciones, sino también de todo lo necesario para realizarlas, como podrían ser la documentación, los recursos humanos, un listado de las herramientas necesarias, el perfil laboral adecuado o los requisitos mínimos necesarios por normativa.

#### 5.4. Contenido de un plan de mantenimiento

Por norma general, un plan de mantenimiento suele estar formado por los siguientes elementos:

- Conjunto de actividades o tareas de mantenimiento a llevar a cabo
- Recursos humanos y materiales necesarios
- Procedimientos de trabajo
- Aspectos de seguridad a tener en cuenta
- Instrucciones técnicas
- Documentos técnicos
- Planos
- Esquemas (eléctricos, funcionales, ...)

#### 5.5. Normativa aplicable para el plan de mantenimiento de un aerogenerador

##### 5.5.1. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico

Los aerogeneradores, como elemento fundamental de la generación de energía eléctrica a partir de energías renovables, concretamente la eólica, forman parte del sector eléctrico de nuestro país, por lo que deben cumplir con los requisitos de diseño y operación establecidos por la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, normativa en la que se establece “la regulación del sector eléctrico con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica y de adecuarlo a las necesidades de los consumidores en términos de seguridad, calidad, eficiencia, objetividad, transparencia y al mínimo coste”.

Concretamente, dentro de esta misma ley, existen dos artículos que hacen referencia a las tareas de mantenimiento:

- **Apartado 6 del artículo 7. Garantía del suministro:** se establece que bajo el incumplimiento de las obligaciones de los sujetos definidos en el artículo 6 de esta misma ley, el Gobierno podrá acordar la intervención de la correspondiente empresa de acuerdo con lo previsto en el artículo 128.2 de la Constitución. Como una de las causas de esta intervención se recoge “la grave y reiterada falta de mantenimiento adecuado de las instalaciones que ponga en peligro la seguridad de las mismas”.

- **Artículo 52. Suspensión del suministro:** el suministro de energía eléctrica “podrá suspenderse temporalmente cuando ello sea imprescindible para el mantenimiento, reparación de instalaciones o mejora del servicio o por razones de seguridad del suministro. En todos estos supuestos, la suspensión requerirá autorización administrativa previa y comunicación a los usuarios en la forma que reglamentariamente se determine”.

#### **5.5.2. Decreto 6/2015, de 30 de enero, por el que se aprueba el Reglamento que regula la instalación y explotación de los Parques Eólicos en Canarias**

Este decreto, tal y como se recoge en su artículo 1, “tiene como objeto regular la instalación y explotación de los parques eólicos conectados a la red eléctrica de transporte o distribución en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias”. De forma que destacaremos aquellos artículos relacionados con el mantenimiento de los parques eólicos:

- **Sección b) del apartado 1 del artículo 23. Puesta en servicio definitiva:** una vez se haya superado la fase de prueba de la instalación eólica con un resultado satisfactorio, el titular deberá presentar una solicitud de puesta en servicio definitiva del parque, acompañada, entre muchos otros documentos, de un contrato de mantenimiento con una empresa autorizada para el mantenimiento de las instalaciones o la acreditación del titular de que dispone de medios de mantenimiento equivalentes.
- **Sección e) del apartado 2 del artículo 24. Obligaciones del titular durante el período de explotación del parque eólico:** en el caso de “un mantenimiento inadecuado que afecte al buen funcionamiento del parque o ponga en riesgo a personas o bienes de terceros”, el titular de la instalación tendrá la obligación de adoptar las medidas correctoras necesarias.
- **Apartado 2 del artículo 25. Autorización de cierre y desmantelamiento del parque:** “la Administración podrá iniciar de oficio el procedimiento de cierre y desmantelamiento una vez finalice su actividad de producción, o bien, cuando la inadecuada conservación y mantenimiento de la instalación pueda ocasionar peligro para las personas, la flora, la fauna, los bienes y el medio ambiente o

restricciones técnicas que afecten a la calidad del servicio eléctrico, disponibilidad de la instalación o a la eficiencia energética”.

- **Artículo 35. Mantenimiento de parques eólicos:** entre los dos apartados que conforman este artículo se afirma que “los titulares de los parques eólicos serán los responsables de su adecuado mantenimiento, para lo que dispondrán de los correspondientes planes de mantenimiento preventivo y de gestión de stocks acordados con su política de explotación, tal que quede garantizada, hasta un nivel aceptable, la disponibilidad del parque. El mantenimiento deberá ser realizado por empresas de reconocida solvencia en la realización de dicha actividad, o del titular si acredita disponer de los medios equivalentes necesarios”.

Además, dichos titulares “están obligados a comunicar al operador del sistema eléctrico los planes de mantenimiento preventivo con la antelación suficiente que permita a este conocer la potencia realmente disponible en cada momento”.

### **5.5.3. Real Decreto 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**

Según la definición de equipo de trabajo recogida en el artículo 2 de este Real Decreto, bajo el cual se entiende como tal “cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizada en el trabajo”, un aerogenerador coincidiría con este término, por lo que deberá cumplir con las disposiciones mínimas de seguridad y salud para el uso por parte de los trabajadores de los equipos de trabajo.

Debido a su pertenencia a la categoría de equipo de trabajo, los aerogeneradores deben ser seguros para su uso laboral, es decir, todos los riesgos implicados deben ser eliminados y, de no ser posible, reducidos al máximo, tanto en el caso de las propias turbinas eólicas como de cualquier elemento, componente o equipo instalado o utilizado en ellas.

Con respecto al mantenimiento, el artículo 3 “Obligaciones generales del empresario” expone que todo equipo de trabajo deberá estar sometido a sus correspondientes procesos de mantenimiento. Específicamente, el conjunto que forman el apartado 1 y 5 de este artículo, pues en el primer apartado se indica que “el empresario adoptará las

medidas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse y convenientemente adaptados al mismo, de forma que garanticen la seguridad y la salud de los trabajadores al utilizar dichos equipos de trabajo.

Cuando no sea posible garantizar de este modo totalmente la seguridad y la salud de los trabajadores durante la utilización de los equipos de trabajo, el empresario tomará las medidas adecuadas para reducir tales riesgos al mínimo”. Mientras que en el apartado 5 está recogido 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 del segundo párrafo del apartado 1. 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 normal o excepcional que pueda influir en su deterioro o desajuste.

Las operaciones de mantenimiento, reparación o transformación de los equipos de trabajo cuya realización suponga un riesgo específico para los trabajadores sólo podrán ser encomendadas al personal especialmente capacitado para ello”.

Este último conjunto normativo, obliga al empresario a garantizar que las condiciones iniciales del aerogenerador en el campo de la seguridad se mantengan durante toda su vida útil, en otras palabras, que el equipo no se degrade o deteriore de manera que pueda poner a los trabajadores o a terceros en peligro.

Cabe destacar que, tal y como establece el artículo 4, “Comprobación de los equipos de trabajo”, aquellos equipos de trabajo cuya seguridad sea dependiente de las condiciones de instalación, como los aerogeneradores o ciertos elementos que lo constituyen como el ascensor de servicio en su interior, deben superar una comprobación o estudio inicial después de su instalación y antes de entrar en servicio por primera vez, además tras el montaje en un nuevo emplazamiento posterior deberán volver a ser sometidos a dicha comprobación.

Debe ser mencionado que este Real Decreto ha sido utilizado como base legislativa para la elaboración de la “Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo”, de carácter no vinculante, donde en su Anexo II, “Disposiciones relativas a la utilización de los equipos de trabajo”, concretamente en el apartado 14 de las “Condiciones generales de utilización de los equipos de trabajo”, se indica que cualquier tipo de operación de mantenimiento de los equipos de trabajo que pueda ser un peligro para la seguridad de los trabajadores, se deberá llevar a cabo después de haber detenido o desconectado dicho equipo, comprobar la inexistencia de energías residuales de riesgo y haber llevado a cabo las medidas necesarias para evitar la conexión o puesta en marcha accidental durante las operaciones de mantenimiento. Por otro lado, “cuando la parada o desconexión no sea posible, se adoptarán las medidas necesarias para que estas operaciones se realicen de forma segura o fuera de las zonas peligrosas”.

Por último, en el apartado 15 de este mismo Anexo II, se expone que, si un equipo de trabajo necesita de un diario de mantenimiento, este debe estar siempre actualizado.

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

Como los aerogeneradores son máquinas comercializadas dentro del marco nacional, es obligatorio que cumplan con la normativa recogida en el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, donde se establecen las “prescripciones relativas a la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, con el fin de garantizar la seguridad de las mismas y su libre circulación, de acuerdo con las obligaciones establecidas en la Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE”.

Entre otras cosas, esta normativa obliga a los fabricantes a que los aerogeneradores posean marcado CE (Conformidad Europea, del francés *Conformité Européenne*), declaración de conformidad, manual de instrucciones y a obedecer ciertos requisitos mínimos y esenciales de seguridad y salud, tanto en su diseño como en su fabricación.

#### **5.5.5. 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**

Un aerogenerador o turbina eólica dispone, entre muchas otras, de varias instalaciones eléctricas, por lo que en un plan de mantenimiento para este equipo deben tenerse en cuenta todos los riesgos relacionados con la electricidad.

El Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, recopila y expone las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, como el deber de localizar e implementar las medidas necesarias para proteger a los trabajadores de los diferentes riesgos y efectos ocasionados por la energía eléctrica, tales como el choque eléctrico directo o indirecto, quemaduras, caídas, golpes tras la electrocución, incendios y/o explosiones en el lugar de trabajo por efecto de la electricidad.

#### **5.5.6. Reglamentación electrotécnica específica**

Las instalaciones eléctricas de los aerogeneradores o sus componentes deben obedecer también la normativa recogida en los reglamentos electrotécnicos específicos, tales como el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (RAT).

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

Esta norma española (concretamente es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 50308) recoge los requisitos para las medidas de protección relativas a la salud y seguridad de los trabajadores, específicamente en relación con la puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de los aerogeneradores.

En la normativa se indica que por condiciones de diseño y fabricación, en los aerogeneradores siempre debe ser posible “bloquear, desenganchar, liberar o aislar/desconectar cualquier energía almacenada o atrapada que pueda causar riesgo durante el mantenimiento”, es decir, que toda parte de la turbina eólica alimentada por cualquier tipo de energía potencialmente peligrosa para la salud de los operarios (como

la electricidad) debe poder ser inducida a un estado de relativa seguridad para las maniobras de mantenimiento.

Además, se establecen los criterios obligatorios para el diseño de los componentes de los aerogeneradores, de manera que se minimicen los riesgos a los que pueden estar expuestos los trabajadores, como podrían ser las puertas, accesos, suelos, iluminación, asideros, etc.

La norma indica la necesidad de practicar accesos de carácter permanente que posibiliten o faciliten la realización de inspecciones y actividades de mantenimiento de una forma segura.

#### **5.5.8. UNE-EN 547-1:1997+A1:2009. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano**

Es clave para posibilitar la realización de las tareas de mantenimiento que las aberturas de acceso y todos los conductos diseñados para el paso de los trabajadores, así como los habitáculos donde deban desempeñar sus funciones, cumplan ciertas necesidades normativas en cuestión de dimensiones, dichos valores están recogidos en la primera parte de la UNE-EN 547, “Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para el paso de todo el cuerpo en las máquinas”.

#### **5.5.9. Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo**

Las mezclas de aceites minerales y las grasas utilizadas en las instalaciones mecánicas de los aerogeneradores están sujetos a la presente normativa, debiendo especificarse en su correspondiente Ficha de Datos de Seguridad (FDS) y en el Documento sobre Límites de Exposición Profesional a Agentes Químicos (), sus valores de Viscosidad Límite Alto (VLA) y Viscosidad Límite Bajo (VLB), así como los resultados de una evaluación previa de los riesgos derivados de su utilización.

### 5.5.10. Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo

El interior del buje y las palas del aerogenerador durante las operaciones de reparación y lijado de la fibra, pueden ser consideradas, debido a la suspensión de partículas en el aire de una mezcla de resina epoxi con fibra de vidrio, las dimensiones reducidas de los habitáculos y las posibles fuentes ignición como el cableado eléctrico, como zonas con atmósferas explosivas.

Por lo tanto, a la hora de realizar el mantenimiento de estas áreas, deben tenerse en cuenta las disposiciones establecidas en el Real Decreto 681/2003, en el cual se establecen los requisitos mínimos para la adecuada protección de los trabajadores durante las tareas de mantenimiento en estas zonas.

### 5.6. Arborescencia funcional

Antes de ahondar en el mantenimiento, es fundamental llevar a cabo una arborescencia, en este caso funcional, para facilitar el proceso de identificación y enumeración de todas las acciones preventivas necesarias.

Recordemos que el perfil escogido para el desarrollo de este plan de mantenimiento es el siguiente: aerogenerador de eje horizontal (HAWT) de tres palas (tripala) con caja multiplicadora, generador asíncrono doblemente alimentado (DFIG) y un sistema de orientación activo.

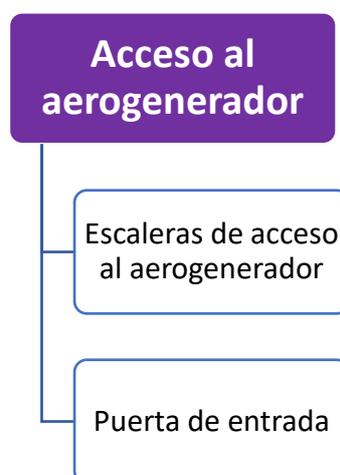


Figura 5.3. Arborescencia funcional del acceso al aerogenerador

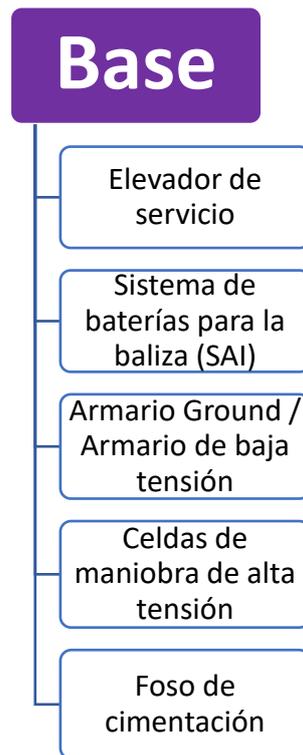


Figura 5.4. Arborescencia funcional de la base del aerogenerador



Figura 5.5. Arborescencia funcional de la torre del aerogenerador

\* **Transformador de alta tensión:** puede ubicarse en una plataforma de la torre del aerogenerador, pero también existen turbinas en las que está instalado en el interior de la góndola o incluso en el exterior del aerogenerador.

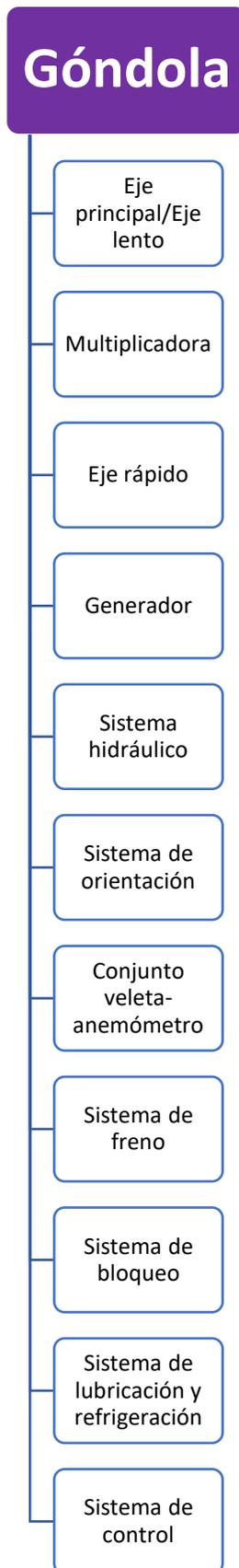


Figura 5.6. Arborescencia funcional de la góndola del aerogenerador

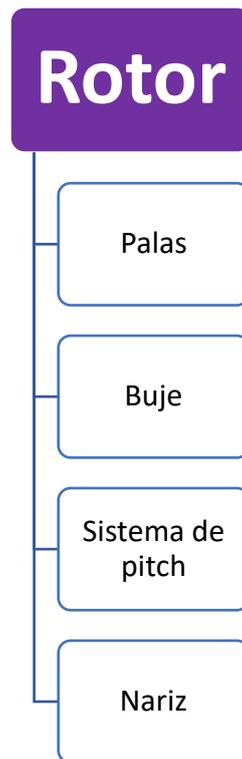


Figura 5.7. Arborescencia funcional del rotor del aerogenerador

### 5.7. Principios de la estrategia de mantenimiento de un aerogenerador

Dejando a un lado el mantenimiento correctivo, dentro del sector energético ha prevalecido como prioritario el modelo preventivo sistemático. Generalmente, cada cierto tiempo, por ejemplo, una vez al año, se llevan a cabo paradas completas de las instalaciones, en las que se realizan las sustituciones de los componentes que, en teoría, han cumplido o se acercan peligrosamente a sus vidas útiles establecidas previamente. Aunque este sistema ofrece grandes ventajas frente al correctivo, como lo es el evitar mayores pérdidas, tanto temporales como materiales, cuando las averías ocurren, no es el modelo de mantenimiento que la industria de la energía eólica ha adoptado.

A la hora de elaborar el plan de mantenimiento de un aerogenerador, las empresas suelen utilizar el sistema condicional o Mantenimiento Basado en la Condición (*Condition Based Maintenance*, CBM). Es decir, como se ha definido anteriormente, en un aerogenerador se interviene sólo si este ha mostrado algún síntoma de que se requieren acciones de mantenimiento, de manera que el pilar fundamental sobre el que se sostiene su estrategia es la inspección.

La inspección de las turbinas eólicas se organiza en tres niveles diferentes:

- **Nivel 1. Inspección online:** a través del uso de la instrumentación electrónica (instalación de sistemas de sensores o instrumentos de medición) se analiza el estado de cada uno de los componentes del aerogenerador.  
La información captada por estos sistemas es enviada a una sala de control, desde la que se vigilan los parámetros (producción, velocidad del viento, rotación de los ejes, temperaturas, vibración, humedad, etc.) de grandes grupos de turbinas eólicas. Se intenta monitorizar todas las partes posibles del aerogenerador para obtener todos los datos disponibles de forma remota. Hoy en día, incluso se lleva a cabo la instalación de un sistema de cámaras de vigilancia en ciertas partes de la estructura, como la góndola, para la realización de inspecciones visuales a distancia. El objetivo es disminuir lo máximo posible la necesidad de enviar a un técnico al interior de la instalación.
- **Nivel 2. Inspección *in situ* o detallada:** en este nivel de inspección, se requiere la intervención o entrada al aerogenerador de un técnico o trabajador cualificado. Este tipo de inspecciones son principalmente sensoriales, como puede ser la búsqueda de fugas, comportamientos anormales, olores poco frecuentes y eventos o situaciones que se desvían del estado de funcionamiento normal. Estas inspecciones solían realizarse como regla general de forma trimestral, sin embargo, la tendencia actual para las grandes empresas se ha derivado hacia una frecuencia semestral, con el fin de minimizar costes y disminuir el número de intervenciones anuales lo máximo posible.
- **Nivel 3. Inspección offline:** en el tercer nivel, los técnicos se trasladan al aerogenerador para transportar e instalar dispositivos de observación y medición con el fin de recoger grupos de datos que serán analizados posteriormente, de forma que puedan comprobar el correcto funcionamiento de la instalación. Estas inspecciones conforman una gran cantidad de actividades, como pueden ser los análisis de vibraciones o termografía con equipos portátiles, inspecciones boroscópicas y tomas de análisis de aceite en la multiplicadora, centralitas hidráulicas o el propio transformador.



Figura 5.8. Niveles de inspección en una turbina eólica

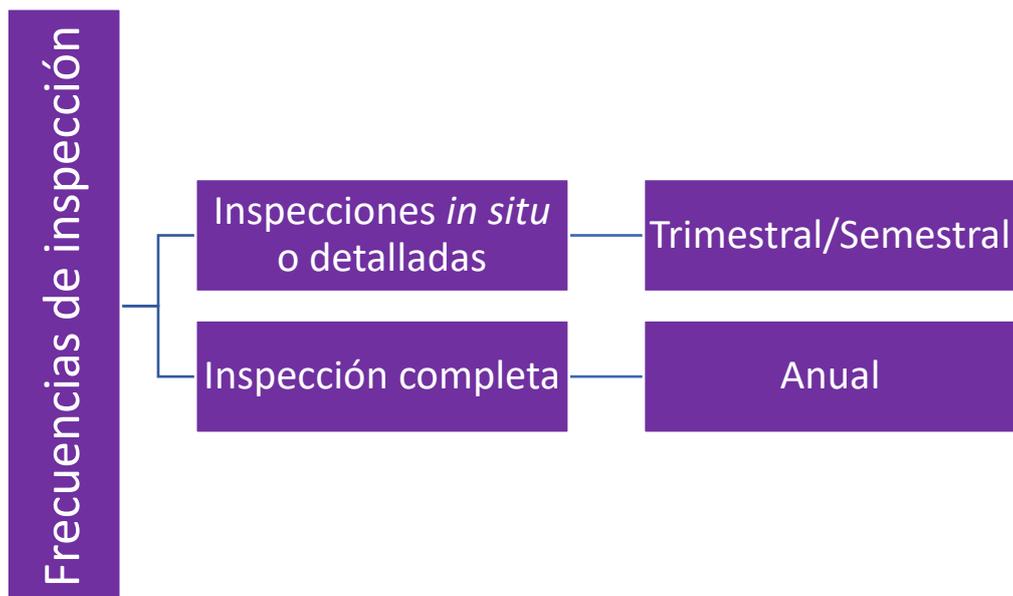


Figura 5.9. Frecuencias de las inspecciones en una turbina eólica

## **5.8. Coste del mantenimiento de un aerogenerador**

Todas las cifras de costes utilizadas en los cálculos han sido extraídas de la experiencia laboral previa de varias empresas de mantenimiento industrial especializadas [40].

### **5.8.1. Coste anual generalizado**

Dentro del sector del mantenimiento industrial, si la empresa desea disponer de un departamento o un servicio completo de mantenimiento, es común un presupuesto anual del 2-3 % del coste de los activos. Es decir, tomando la media actual dentro del mercado con los modelos de grandes potencias, unos 800.000 € por megavatio (MW), y escogiendo como referencia de cálculo una turbina eólica de 3 MW de potencia nominal, tendríamos un activo o equipo de un coste aproximado de 2.400.000 €, de modo que el presupuesto anual de mantenimiento para este modelo estaría dentro de la franja de los 48.000 € (2 %) y los 72.000 € (3 %) por aerogenerador.

Sin embargo, en el caso del mantenimiento de aerogeneradores, la franja porcentual generalizada del sector no es válida, pues para este tipo de instalaciones la estrategia de mantenimiento es, en general, mucho más eficiente, de manera que se utilizan porcentajes del 1,5-2 % del coste de los activos. Utilizando el mismo modelo que en el apartado anterior, supondría un presupuesto anual de mantenimiento entre los 36.000 € y los 48.000 € por aerogenerador. Este presupuesto incluiría todas las actividades y recursos propios del mantenimiento completo: contratos, revisiones, mano de obra, materiales, pruebas y un porcentaje para el mantenimiento correctivo de grandes averías.

### **5.8.2. Coste de la mano de obra**

Normalmente, en un parque eólico se emplean dos niveles de mano de obra: uno de supervisión por parte de la figura del jefe del parque eólico y otro conformado por grupos de técnicos de mantenimiento.

Como referencia, en un parque eólico de 20 o 25 aerogeneradores, se suele disponer de un jefe de parque y un equipo de dos operarios capacitados que realizan las inspecciones *in situ*, así como las pruebas y mediciones necesarias.

El salario medio anual de un jefe de parque eólico oscila entre los 40.000 € y 50.000 €, pudiendo sufrir variaciones en función de la potencia nominal instalada del parque y la generación anual del mismo.

Por otro lado, los técnicos de mantenimiento de parques eólicos suelen tener salarios con una media entre los 18.000 € y 24.000 € anuales.

### 5.8.3. Coste de las inspecciones: frecuencia trimestral frente a la semestral

La tendencia general de la industria eólica, especialmente entre aquellas empresas que no cuentan con sus propios departamentos de mantenimiento eólico, ha sido la de minimizar el número de inspecciones detalladas anuales, cambiando la frecuencia trimestral a la semestral, con el objetivo de reducir costes. Sin embargo, el beneficio económico que resulta de esta reducción es cuestionable, especialmente frente a las consecuencias que pueden derivar de la aparición de una posible avería cuyos procesos de origen y manifestación abarquen menos de medio año (6 meses). En otras palabras, la identificación temprana de estos fallos puede evitar la necesidad de un mantenimiento correctivo en el futuro, lo que compensa con creces el encarecimiento debido al aumento de la frecuencia en las inspecciones de mantenimiento.

Para llevar a cabo la comparación, utilizaremos una franja media de precios dentro del sector, tomando el coste de una inspección contratada a una empresa externa, sin tener en cuenta el precio de materiales, pruebas, verificaciones o acciones de mantenimiento correctivo necesarias.

Tipo de actividad	Inspección <i>in situ</i> o detallada					
Extremos	Mínimo		Media		Máximo	
Coste por inspección (€/inspección)	250		275		300	
Frecuencia	Trimestral			Semestral		
Número de inspecciones anuales	4			2		
Extremos	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Coste anual por aerogenerador (€/aerogenerador)	1000	1100	1200	500	550	600

Tabla 5.1. Comparación económica entre las inspecciones trimestrales y semestrales en un aerogenerador

### 5.9. Flujograma del mantenimiento correctivo de un aerogenerador

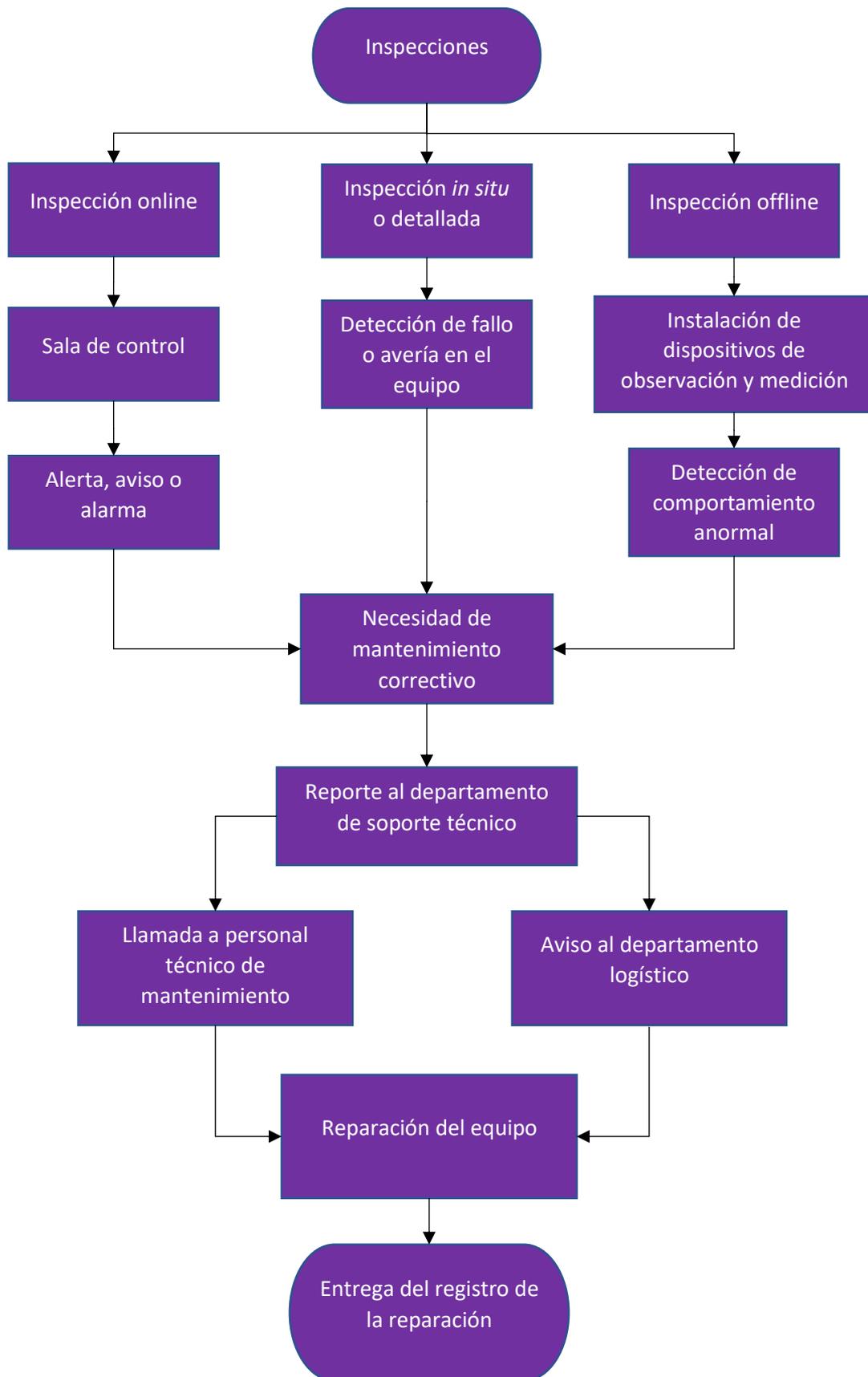


Figura 5.10. Flujograma del mantenimiento correctivo de un aerogenerador

## 5.10. Listado de las actividades preventivas de la inspección *in situ* o detallada de un aerogenerador

Todas las inspecciones que requieran la presencia física de un técnico en el interior de la turbina eólica deben realizarse con el aerogenerador parado y bloqueado, es decir que las palas no pueden estar en movimiento de acuerdo con las normas de seguridad proporcionadas por los fabricantes de turbinas eólicas y por la Global Wind Organisation, quienes han estandarizado los procedimientos de seguridad para ejecutar las inspecciones y los trabajos de mantenimiento en estos equipos.

Debido a la necesidad de parar el aerogenerador, ciertas inspecciones que deben practicarse con el equipo en marcha sólo pueden realizarse a través de inspecciones online o remotas desde la sala de control correspondiente o como alternativa, en el caso de no existir esa posibilidad, los operarios deberán instalar los instrumentos correspondientes y poner en marcha el aerogenerador, siempre después de encontrarse fuera de la instalación.

La duración de estas paradas dependerá de múltiples factores:

- Dimensiones y potencia nominal del aerogenerador.
- Ubicación de la instalación y su accesibilidad.
- Cantidad de equipos a inspeccionar.
- Número de pruebas y mediciones a realizar.

Sin embargo, la media de tiempo de una inspección trimestral/semestral en una turbina eólica de grandes potencias se encuentra dentro del intervalo de 4 a 6 horas, pudiendo acortarse con el uso de drones RTK (*Real Time Kinematic*) resistentes al viento para los trabajos de inspección visual en zonas elevadas, como podrían ser las palas, el buje, la góndola o ciertas zonas de la torre.

El listado que se muestra a continuación agrupa, de forma superficial, todas las actividades que, en general, se desarrollan durante una inspección *in situ* o detallada. Algunas de estas tareas no se realizan en las inspecciones trimestrales/semestrales, sino en las de carácter anual. Cabe destacar que la siguiente lista es utilizada como base de partida para la creación de las planillas de mantenimiento, donde las actividades se

detallan y organizan de una forma exhaustiva con sus frecuencias respectivas, así como otros tipos de información relevante a la hora de elaborar el plan de mantenimiento.

Ubicación	Elemento	Actividades preventivas
Exterior: estructura externa	<b>Torre</b>	Inspección visual de la torre: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de corrosión</li> <li>▪ Comprobación del estado de las soldaduras</li> <li>▪ Detección de fisuras</li> </ul>
	<b>Góndola</b>	Inspección visual de la góndola
	<b>Nariz</b>	Inspección visual de la nariz: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detección de fisuras</li> </ul>
	<b>Palas</b>	Inspección visual de las palas: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detección de fisuras</li> <li>▪ Detección de formaciones</li> <li>▪ Inspección del extender de las palas</li> <li>▪ Revisión de la unión al buje</li> <li>▪ Comprobación de la integridad estructural</li> <li>▪ Presencia de ruidos anómalos</li> </ul>
Acceso al aerogenerador	<b>Escaleras de acceso al aerogenerador</b>	Inspección sensorial de las escaleras de acceso: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de elementos fracturados</li> <li>▪ Presencia de corrosión</li> <li>▪ Detección de malformaciones o desniveles no deseados</li> </ul>
	<b>Puerta de entrada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobación de la apertura y el cierre</li> <li>• Comprobación de la estanqueidad</li> </ul>
Base	<b>Común</b>	Inspección sensorial: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de elementos sueltos</li> <li>▪ Ausencia de colores anormales</li> <li>▪ Comprobación del cableado</li> <li>▪ Comprobación de alertas, alarmas o luces de aviso</li> </ul>
	<b>Elevador de servicio</b>	Protocolo del mantenimiento de ascensores (recomendado por el fabricante): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprobar el estado mecánico de la puerta</li> <li>▪ Comprobar que la puerta una vez ha sido cerrada no se puede volver a abrir</li> <li>▪ Verificar el correcto estado de los dispositivos de enclavamiento</li> <li>▪ Comprobar el funcionamiento de los medios de suspensión</li> <li>▪ Comprobar el funcionamiento de los medios de tracción</li> <li>▪ Comprobar el funcionamiento de frenado mecánico</li> <li>▪ Comprobar el estado de los núcleos del sistema de frenado mecánico</li> <li>▪ Comprobar el estado de los ejes y articulaciones del sistema de frenado mecánico</li> <li>▪ Verificar ausencia de corrosión en el sistema de frenado mecánico</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar ausencia de suciedad en el sistema de frenado mecánico</li> <li>▪ Verificar correcto funcionamiento del limitador de velocidad</li> <li>▪ Comprobar el funcionamiento del paracaídas, con la cabina vacía y a velocidad reducida</li> <li>▪ Comprobar el funcionamiento de los amortiguadores, con la cabina vacía y a velocidad reducida</li> <li>▪ Verificar el correcto funcionamiento del sistema de petición de socorro</li> </ul>
	<b>Sistema de baterías para el balizamiento (SAI)</b>	Verificación del estado del Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inspección sensorial del sistema</li> <li>▪ Comprobar el funcionamiento del sistema de baterías desconectando previamente la alimentación principal del balizamiento</li> </ul>
	<b>Armario Ground/Armario de baja tensión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobación de la maniobrabilidad</li> <li>• Búsqueda sensorial de elementos en mal estado</li> </ul>
	<b>Celdas de maniobra de alta tensión</b>	Verificación del estado de las celdas de maniobra de alta tensión: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inspección sensorial del estado de las celdas</li> <li>▪ Comprobación del funcionamiento efectuando las maniobras</li> </ul>
	<b>Foso de cimentación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de defectos en el revestimiento del cableado</li> <li>• Detección de fisuras y/o defectos en la estructura o elementos de acceso</li> <li>• Presencia de ruidos u olores anómalos</li> </ul>
<b>Torre</b>	<b>Transformador de alta tensión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección visual del transformador:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de elementos extraños</li> <li>▪ Búsqueda de averías o defectos</li> </ul> </li> <li>• Medición de aislamiento de las fases</li> <li>• Realizar limpieza del transformador</li> <li>• Verificación de la toma de tierra</li> <li>• Verificación del sistema de refrigeración (usualmente ventiladores)</li> <li>• Verificación del regulador de tomas del transformador (si procede)</li> <li>• Revisión de la bancada/anclajes del transformador</li> </ul>
	<b>Plataforma del transformador</b>	Inspección sensorial de las plataformas: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de elementos sueltos o fracturados en la estructura</li> <li>▪ Presencia de corrosión</li> <li>▪ Comprobar la apertura y cierre de los accesos</li> <li>▪ Comprobar el estado de la línea de anclaje rígida</li> </ul>
	<b>Plataforma de la corona</b>	
	<b>Escala de servicio</b>	Inspección sensorial de la escala de servicio: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de elementos sueltos o fracturados</li> <li>▪ Presencia de corrosión</li> <li>▪ Comprobar el estado de la línea de anclaje rígida</li> <li>▪ Comprobar la rigidez de la instalación</li> </ul>

<b>Góndola</b>	<b>Eje principal/Eje lento Eje rápido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección visual del eje principal: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de irregularidades en la superficie</li> <li>▪ Revisión del par de apriete de los tornillos (sistema de marcas visuales)</li> </ul> </li> <li>• Verificación del rodamiento principal: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar la ausencia de ruidos extraños al simular una maniobra de forma manual</li> <li>▪ Lubricación rodamiento principal, frontal/trasero (si procede)</li> </ul> </li> <li>• Medición de vibraciones</li> </ul>
	<b>Multiplicadora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección sensorial de la multiplicadora: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausencia de elementos rotos, sueltos o desmontados</li> <li>▪ Comprobación de fugas u otro fluido</li> </ul> </li> <li>• Desmontaje de las tapas para comprobar el estado de aceite: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausencia de color extraño</li> <li>▪ Presencia de espuma</li> <li>▪ Acumulación de partículas magnéticas (uso del detector magnético integrado)</li> <li>▪ Nivel del aceite</li> <li>▪ Reposición de aceite (si procede)</li> </ul> </li> <li>• Desmontaje de las tapas para comprobar el estado de los filtros: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cambio de filtros (si procede)</li> </ul> </li> <li>• Revisión de la holgura de los rodamientos</li> <li>• Revisión del par de apriete de los tornillos (sistema de marcas visuales)</li> <li>• Verificación de la ausencia de calentamientos anormales (termografía)</li> <li>• Medición de vibraciones</li> <li>• Lubricación general (si procede)</li> </ul>
	<b>Polipasto/Puente grúa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección sensorial del puente grúa: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detección de fracturas, fisuras o averías</li> <li>▪ Ausencia de ruidos u olores anómalos</li> </ul> </li> <li>• Comprobación del funcionamiento del polipasto mediante la elevación y el descenso de una carga.</li> </ul>
	<b>Sistema de salvamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobación del funcionamiento del sistema de salvamento, simulando la maniobra.</li> </ul>
	<b>Puerta lateral de evacuación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de la apertura y cierre de la puerta lateral de evacuación para casos de emergencia.</li> </ul>
	<b>Generador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección sensorial del generador: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detección de fugas</li> <li>▪ Ausencia de elementos rotos, sueltos o desmontados</li> <li>▪ Colocación correcta de las etiquetas identificativas</li> <li>▪ Información correcta en las etiquetas identificativas</li> <li>▪ Ausencia de colores anormales</li> <li>▪ Búsqueda de corrosión</li> </ul> </li> <li>• Revisión de los amortiguadores de caucho</li> <li>• Chequeo de los rodamientos</li> <li>• Chequeo del dispositivo protector del ventilador y tratamiento de la superficie</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la puesta a tierra</li> <li>• Medición de vibraciones</li> <li>• Medición del aislamiento del cableado</li> <li>• Revisión del apriete de los pernos de sujeción (sistema de marcas visuales)</li> <li>• Revisión del apriete de las conexiones en la caja de bornas</li> <li>• Termografía de los devanados del generador</li> <li>• Inspección de escobillas y anillos rozantes</li> <li>• Lubricación general (si procede)</li> </ul>
<b>Sistema hidráulico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar estado de los pistones</li> <li>• Comprobar el estado de los manguitos hidráulicos</li> <li>• Revisión de los niveles de líquido hidráulico</li> <li>• Reposición de líquido hidráulico (si procede)</li> <li>• Detección de fugas</li> <li>• Comprobar el estado de los filtros</li> <li>• Cambio de filtros (si procede)</li> </ul>
<b>Sistema de orientación de la góndola</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobación del correcto funcionamiento mediante la realización de un giro completo del mecanismo</li> <li>• Inspección visual de los motorreductores</li> <li>• Verificación del apriete de los pernos de sujeción de los motorreductores (sistema de marcas visuales)</li> <li>• Medición del consumo de los motores del sistema</li> <li>• Revisión de los dientes de las coronas</li> <li>• Lubricación general (si procede)</li> </ul>
<b>Conjunto veleta-anemómetro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección sensorial del conjunto</li> <li>• Comprobación de la correcta conexión al sistema de control</li> <li>• Verificación por comparación de las medidas del conjunto</li> </ul>
<b>Sistema de freno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección visual del disco de freno</li> <li>• Chequeo de las pinzas y pastillas de los frenos simulando una maniobra de forma manual</li> <li>• Revisión del par de apriete de los tornillos (sistema de marcas visuales)</li> <li>• Chequeo del eje de transmisión</li> <li>• Lubricación general (si procede)</li> </ul>
<b>Sistema de bloqueo</b>	Comprobación del correcto funcionamiento colocando los pasadores y simulando una maniobra de forma manual
<b>Sistema de lubricación y refrigeración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de los niveles de líquido lubricante</li> <li>• Revisión de los niveles de líquido refrigerante</li> <li>• Reposición de líquido lubricante (si procede)</li> <li>• Reposición de líquido refrigerante (si procede)</li> <li>• Detección de fugas</li> <li>• Comprobar el estado de los filtros</li> <li>• Cambio de filtros (si procede)</li> </ul>

	<b>Sistema de control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobación de alarmas activas en los PLC</li> <li>• Verificación de la instrumentación electrónica: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contador de vueltas</li> <li>▪ Grupos de sensores (temperatura, presión, estación meteorológica, etc.)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Rotor</b>	<b>Palas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección sensorial del interior de las palas (si procede): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de fisuras o fracturas</li> <li>▪ Presencia de malformaciones</li> <li>▪ Existencia de elementos anómalos</li> </ul> </li> <li>• Termografía de la superficie interna de las palas</li> </ul>
	<b>Buje</b>	Inspección sensorial del buje: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detección de fisuras</li> <li>▪ Comprobación de la integridad estructural</li> <li>▪ Revisión del par de apriete de los tornillos (sistema de marcas visuales)</li> </ul>
	<b>Sistema de pitch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar estado de los rodamientos de las palas simulando una maniobra de forma manual</li> <li>• Revisión del par de apriete de los tornillos (sistema de marcas visuales)</li> <li>• Chequeo del cojinete liso</li> <li>• Chequeo de las partes en tubo portador</li> <li>• Chequeo del soporte del cilindro hidráulico</li> <li>• Lubricación general (si procede)</li> </ul>
	<b>Nariz</b>	Inspección visual del interior de la nariz: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de fisuras</li> </ul>
<b>Común</b>	<b>Armarios eléctricos</b>	Apertura e inspección sensorial de los armarios eléctricos: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausencia de elementos extraños</li> <li>▪ Comprobación de daños</li> <li>▪ Termografía de sus componentes eléctricos</li> </ul>

Tabla 5.2. Actividades preventivas de la inspección *in situ* o detallada

### 5.11. Planilla de mantenimiento de un aerogenerador: inspecciones detalladas y completas

A diferencia de lo que se mostraba en el listado anterior, la planilla incluirá, no sólo un listado exhaustivo de las actividades de una inspección trimestral/semestral detallada, sino también las acciones que se deben llevar a cabo para realizar una inspección anual completa de un aerogenerador. Así como, las frecuencias, operarios necesarios y duraciones estimadas de las actividades involucradas. Cabe destacar que incluiremos en la planilla un breve listado del mantenimiento de los elementos del aerogenerador que están sujetos a un mantenimiento legal.

El contenido de la planilla de mantenimiento abarca los siguientes campos:

- Zona del aerogenerador
- Descripción de la actividad preventiva
- Tipo de actividad
- Resultado
- Frecuencia
- Tipo de operario necesario
- Tiempo (minutos/hombre)
- Operarios mínimos
- Duración (minutos)
- Observaciones (un campo a rellenar por el operario si lo creyese conveniente)

Las planillas de mantenimiento han sido divididas en los anexos de esta memoria, en función de la frecuencia y su pertenencia al marco del mantenimiento legal. Además, se ha redactado de forma independiente un resumen de actividades de mantenimiento del elevador de servicio siguiendo las pautas de empresas mantenedoras especializadas. La lista de anexos sería la siguiente:

- **Anexo I:** Planilla de mantenimiento trimestral/semestral del aerogenerador.
- **Anexo II:** Planilla de mantenimiento anual/trienal del aerogenerador.
- **Anexo III:** Planilla simplificada del mantenimiento legal.
- **Anexo IV:** Resumen de actividades del mantenimiento del ascensor.

## **6. Estudio de evaluación de riesgos**

Según la documentación “Evaluación de Riesgos Laborales” proporcionada por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), indicada en la referencia [39], la evaluación de riesgos está reconocida como la base para la gestión activa de la seguridad y la salud en el trabajo, además se utilizará la metodología presentada en dicho informe para la elaboración del estudio de evaluación de riesgos en el aerogenerador.

### **6.1. Definición de evaluación de riesgos laborales**

La INSST establece que “la evaluación de los riesgos laborales es el proceso dirigido a estimar la magnitud de aquellos riesgos que no hayan podido evitarse, obteniendo la información necesaria para que el empresario esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse”.

Por otro lado, el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) indica que es la actividad que “busca identificar y eliminar riesgos presentes en el entorno de trabajo, así como la valoración de la urgencia de actuar”.

Observando ambas definiciones, se puede deducir una idea común, la evaluación de los riesgos laborales radica en la observación y estudio de todos los aspectos potencialmente peligrosos para la salud de los trabajadores con el fin de eliminarlos o reducirlos. Dicho en otras palabras, su función principal es la identificación de todos los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, con el fin de:

- Localizar los factores de riesgo involucrados.
- Eliminar todos los riesgos posibles.
- Evaluar y categorizar los riesgos que no puedan evitarse.
- Planificar la lista de medidas de control de riesgos.

## 6.2. Procedimiento generalizado de la evaluación de riesgos laborales

Los procesos que componen la evaluación de riesgos laborales son los siguientes:

- **Identificación de riesgos:** en esta primera actividad, se lleva a cabo la búsqueda y enumeración de todos los riesgos involucrados en el desarrollo de la actividad laboral.
- **Estimación de riesgos:** tras la identificación, se obtiene una lista de todos los riesgos para los puestos de trabajo analizados, por lo que se procede a calcular el orden de magnitud de cada uno de ellos, principalmente en función de sus consecuencias y probabilidad de ocurrencia.
- **Valoración de riesgos:** una vez clasificado el nivel del riesgo, este es comparado con el nivel de riesgo de referencia, es decir, con el valor establecido como riesgo tolerable.

En el caso de que el riesgo sea evaluado como no tolerable, debe efectuarse el proceso de control de riesgos:

- **Control de riesgos:** para aquellos riesgos que han sido considerados como no tolerables, deben adoptarse las medidas preventivas o correctoras necesarias para que puedan ser valorados como riesgos controlados y, por lo tanto, puedan ejecutarse las actividades laborales con los mayores niveles de seguridad posibles.

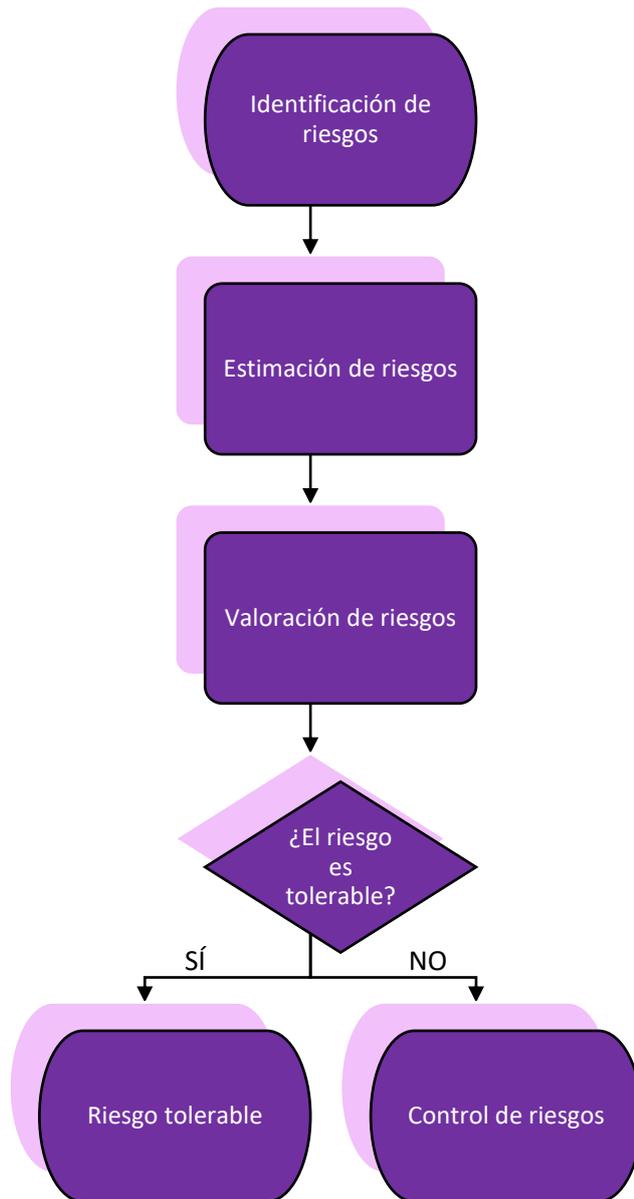


Figura 6.1. Flujograma general del procedimiento de la evaluación de riesgos laborales

### 6.3. Flujograma exhaustivo de la evaluación de riesgos laborales

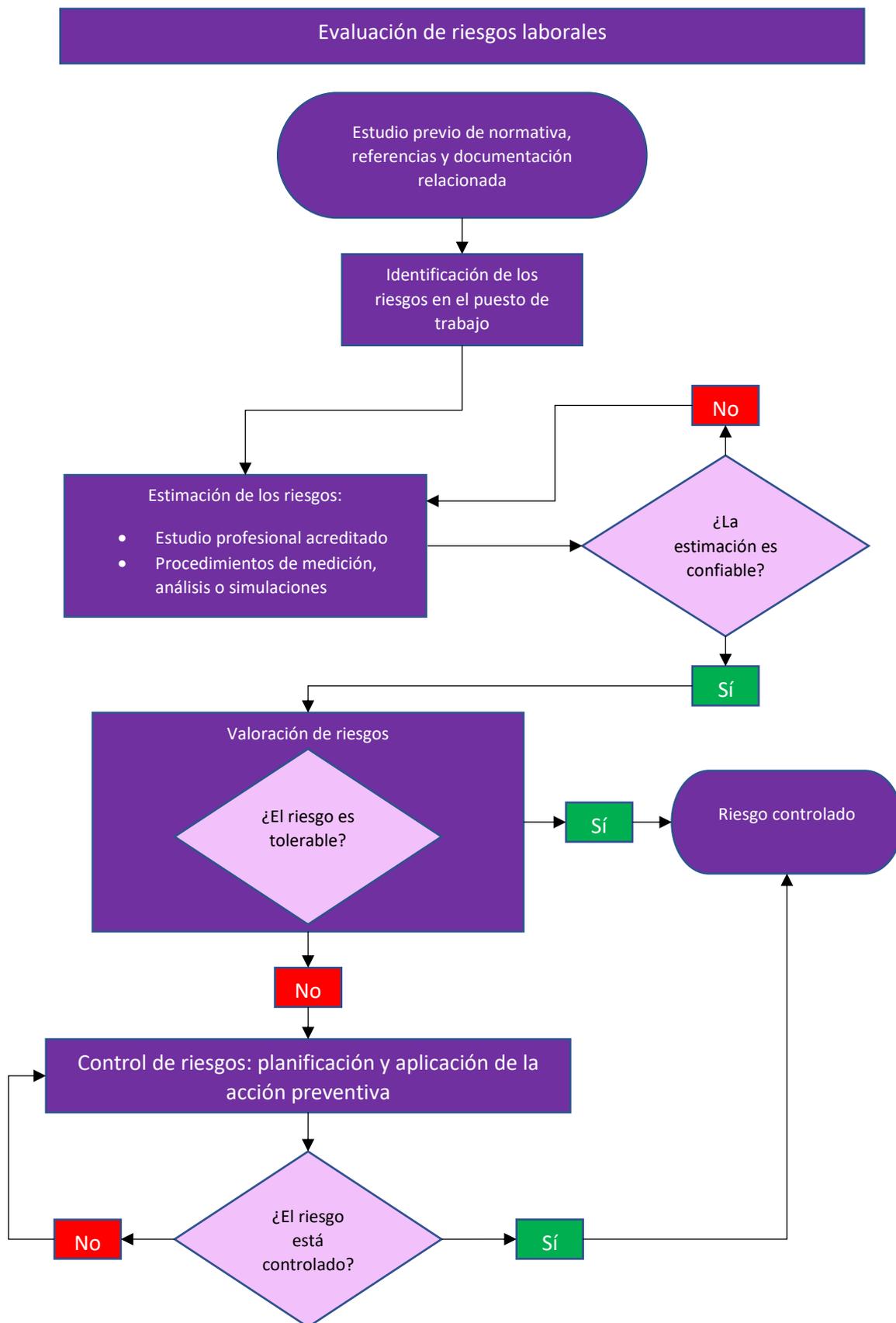


Figura 6.2. Flujograma exhaustivo del procedimiento de la evaluación de riesgos laborales

#### 6.4. Normativa aplicable para el estudio de evaluación de riesgos

- **Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales:** recoge y enumera una serie de disposiciones básicas con el objetivo de garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en su actividad laboral. Esta normativa puede resumirse en seis grandes grupos:
  - **Objeto y ámbito de aplicación:** el objetivo principal de esta ley es el de asegurar un marco mínimo de obligado cumplimiento con respecto a la seguridad y salud laboral, fomentando el desarrollo de un entorno laboral seguro y saludable. La normativa es aplicable a todos los sectores, tanto públicos como privados.
  - **Derechos y obligaciones de los trabajadores y empleadores:** se establecen los derechos y obligaciones, tanto de los trabajadores como del empresario, relacionados con la prevención de riesgos laborales. Todos los trabajadores tienen el derecho a recibir formación en materia de seguridad y salud. Por otro lado, el empresario está obligado a desarrollar un estudio de evaluación de riesgos laborales, identificando y evaluando los posibles riesgos en todos los puestos de trabajo de la empresa, para posteriormente proceder con la implementación de las medidas preventivas necesarias para la mitigación o eliminación de dichos riesgos. Incluso tras la adopción de las acciones preventivas necesarias, la vigilancia sobre la seguridad y la salud de los trabajadores debe ser constante, con el fin de identificar nuevos riesgos o la evolución de alguno de los previamente conocidos.
  - **Principio de la acción preventiva:** la normativa presenta los principios básicos y fundamentales de la acción preventiva, incluyendo el estudio de los riesgos en todos los niveles jerárquicos y funcionales de la empresa, la identificación de estos en sus respectivos orígenes, la implementación de medidas de corrección y protección, así como la obligatoriedad de informar y formar a los trabajadores en materia de prevención de riesgos.

- **Servicios de prevención:** las empresas deben disponer de servicios de prevención de riesgos, ya sean propios o ajenos (empresas externas especializadas), cuya función principal es la implementación de las acciones preventivas necesarias.
- **Participación de los trabajadores:** la ley fomenta la participación de los trabajadores en la prevención de riesgos laborales, ya sea con la implementación de mecanismos de consulta, la creación de departamentos o comités de seguridad y salud laboral o la elección de delegados dentro de la empresa.
- **Régimen sancionador:** se establece un órgano sancionador en caso del incumplimiento de las disposiciones recogidas en la normativa. Las infracciones pueden ser objeto de sanciones administrativas, desde amonestaciones hasta cuantiosas multas. Incluso, en función de la severidad y naturaleza de la infracción, puede resultar en el cese de la actividad laboral hasta nuevo aviso.

En conclusión, una vez los aerogeneradores estén instalados y en funcionamiento en su correspondiente parque eólico, será imperativo haber llevado a cabo la realización de una evaluación inicial de los riesgos, así como de la planificación de la actividad preventiva necesaria para asegurar un procedimiento laboral con la mayor seguridad posible. De hecho, estas actividades preventivas, incluyendo las medidas de seguridad y de prevención adoptadas, así como el material de protección que debe emplearse, deben estar recogidas, y debidamente actualizadas, en la documentación correspondiente según el artículo 23 “Documentación”. Dicho de otra forma, en el caso de las operaciones de mantenimiento y las comprobaciones del aerogenerador, tanto iniciales como periódicas, estas deben estar anotadas en un diario de mantenimiento.

- **Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención:** establece el Reglamento de los Servicios de Prevención (RSP), dentro del campo de la prevención de riesgos laborales. Esta normativa se apoya y complementa a la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, y tiene como función principal establecer las disposiciones para la organización de los servicios de prevención de riesgos laborales en las empresas. Este extenso Real Decreto puede agruparse en torno a cinco puntos principales:
  - **Organización de los servicios de prevención:** tal y como se recoge en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, las empresas deben contar con un servicio de prevención de riesgos laborales, ya sea propio o ajeno. En este Real Decreto se establecen, para ambos casos, las funciones y responsabilidades principales de todos los agentes implicados, tales como los empleadores/empresarios, trabajadores, delegados y servicios de prevención.
  - **Modalidades de servicios de prevención:** el reglamento presenta tres modalidades posibles para los servicios de prevención (servicio de prevención propio, mancomunado y ajeno). Para cada una de ellas, existen requisitos y obligaciones específicas, siendo su elección dependiente del tamaño y otras características de la empresa.
  - **Funciones de los servicios de prevención:** todos los servicios de prevención, independientemente de su modalidad, deben realizar una serie de funciones comunes, como la identificación y evaluación de los riesgos, la planificación del plan preventivo, la vigilancia de la salud de los trabajadores y el deber, tanto de informar como formar, a los trabajadores en materia de prevención de riesgos laborales. Además, deben siempre estar dispuestos a colaborar con los órganos representativos de los empleados.

- **Plan de prevención de riesgos laborales:** todas las empresas están obligadas a desarrollar un plan de prevención de riesgos laborales, el cual según la normativa debe incluir una descripción detallada de la estructura organizativa, las actividades de prevención a desarrollar, las responsabilidades asignadas a cada puesto de trabajo y los recursos disponibles para el desarrollo de la prevención.
- **Coordinación de las actividades laborales:** a la hora de elaborar el plan de prevención, es obligatorio que cuando múltiples empresas lleven a cabo su actividad laboral en un mismo centro de trabajo, los servicios de prevención se encarguen de coordinar las tareas con el objetivo de evitar situaciones de riesgo y garantizar la seguridad y salud de todas las empresas involucradas.

Dentro de los múltiples artículos de este Real Decreto, es importante destacar, de cara a la elaboración del estudio de evaluación de riesgos, el artículo 4 “Contenido general de la evaluación”, el cual marca que la evaluación de los riesgos que no se hayan podido evitar, deberá ser extendida a todos y cada uno de los puestos de trabajo de la empresa en el que dichos riesgos estén involucrados. Destaca también que en el caso de que se produzcan ciertos cambios, como la modificación de las condiciones de trabajo, la implantación de nuevas tecnologías o la incorporación de un trabajador cuyas características personales o biológicas lo hagan sensible a las condiciones de su puesto, será necesaria la realización de otra evaluación de riesgos para dicho puesto de trabajo.

Es decir, los riesgos implicados en el mantenimiento de los aerogeneradores que no hayan podido ser eliminados previamente tras su instalación, deberán ser recogidos, estudiados y evaluados para que los trabajadores puedan llevar a cabo las tareas de mantenimiento con los niveles de seguridad necesarios según la normativa vigente.

Adicionalmente, es importante destacar el apartado 4 del artículo 22 bis, “Presencia de los recursos preventivos”, pues el foso de la base y el interior del buje y las palas de un aerogenerador cumplen con la definición de espacio confinado que se muestra en el mismo, entendiéndose como “el recinto con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos o inflamables o puede haber una atmósfera deficiente en oxígeno, y que no está concebido para su ocupación continuada por los trabajadores”.

- **Norma UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo:** decreta los principios generales de diseño para garantizar la seguridad de las máquinas industriales. En este documento se proporcionan directrices y requisitos para la evaluación y reducción de los riesgos asociados al uso de las máquinas a lo largo de su ciclo de vida.

Se destaca la importancia de la identificación de los peligros potenciales, la evaluación de la probabilidad y severidad de los posibles accidentes y la aplicación de elementos de protección e inspecciones técnicas para la eliminación y reducción de los riesgos involucrados. Cabe destacar, que se menciona la imperiosa necesidad de proporcionar información clara y completa sobre los procedimientos de uso y mantenimiento de las máquinas, así como de sus dispositivos o elementos de protección instalados.

En resumen, en este documento se recogen pautas, consejos y procedimientos para la fabricación de máquinas seguras en su fase de diseño, destacando metodologías de valoración y reducción de riesgos, las cuales pueden utilizarse para la elaboración de un estudio de evaluación con respecto al mantenimiento de un aerogenerador.

## 6.5. Identificación de riesgos para el mantenimiento de un aerogenerador

### 6.5.1. Riesgos previos al acceso del aerogenerador

Ubicación de estudio	Riesgos identificados	Factores de riesgo	Descripción
Terreno del parque eólico	Accidente de circulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vehículo</li> <li>▪ Condiciones climatológicas</li> <li>▪ Estado del terreno</li> </ul>	Uso de vehículos por terrenos sin asfaltar, montañas, colinas y/o con condiciones climatológicas adversas.
	Incendio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vegetación del terreno</li> </ul>	Es posible que se inicie un incendio no intencionado en los terrenos del parque.
	Golpes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vehículo</li> </ul>	El conductor es susceptible de sufrir golpes o impactos en su cuerpo con el uso del vehículo dentro del parque.
	Electrocución o choque eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tormenta eléctrica</li> <li>▪ Derivación a tierra inadecuada</li> </ul>	Exposición a los rayos por condiciones climáticas o instalación eléctrica deficiente.
	Caída al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estado del terreno</li> </ul>	Dentro del parque, la mayoría del suelo del terreno no está urbanizado.
	Caída de restos de hielo desde las palas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zona de baja temperatura</li> </ul>	Pueden formarse en las palas en ambientes de baja temperatura.
	Presencia de animales peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ubicación de la zona del parque eólico</li> </ul>	Los parques eólicos suelen instalarse en zonas alejadas de núcleos urbanos. Dependiendo de la región, es posible la aparición de animales peligrosos para el ser humano.

Tabla 6.1. Lista de riesgos previos al acceso del aerogenerador

### 6.5.2. Riesgos específicos y comunes en el acceso y la base del aerogenerador

Ubicación de estudio	Riesgos identificados	Factores de riesgo	Descripción
Acceso al aerogenerador	Caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escaleras de acceso</li> </ul>	Los trabajadores pueden sufrir caídas en las escaleras de acceso.
	Caída al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puerta de acceso</li> </ul>	Los trabajadores pueden sufrir caídas en la puerta de acceso.
	Atrapamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puerta de acceso</li> </ul>	Durante el cierre de la puerta de acceso, el trabajador está expuesto a posibles atrapamientos en el proceso.

Tabla 6.2. Lista de riesgos específicos en el acceso al aerogenerador

Ubicación de estudio	Riesgos identificados		Factores de riesgo	Descripción
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Electrocución o choque eléctrico</li> <li>▪ Quemaduras</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Armarios <i>Ground</i> o de baja tensión</li> <li>▪ Celdas de maniobra de alta tensión</li> <li>▪ Conductores de baja tensión</li> <li>▪ Conductores de alta tensión</li> <li>▪ Protecciones, derivaciones y/o aislamientos deficientes</li> <li>▪ Componentes con capacidad de almacenamiento eléctrico</li> </ul>	Los trabajadores de mantenimiento estarán sometidos a un entorno rodeado de elementos eléctricos con los que pueden sufrir lesiones de diversos grados.
	Exposición a atmósferas peligrosas en espacios confinados	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Insuficiencia de oxígeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) en las celdas de maniobra de alta tensión</li> </ul>	En el caso de fuga de SF <sub>6</sub> , un gas más pesado que el aire, existe el peligro de asfixia en lugares poco ventilados.
	Explosión		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Instalaciones eléctricas</li> <li>▪ Armarios <i>Ground</i> o de baja tensión</li> <li>▪ Celdas de maniobra de alta tensión</li> </ul>	Existe el riesgo de una expansión violenta y rápida por parte de los sistemas energéticos del aerogenerador.
	Caída del elevador de servicio		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escaso o inadecuado mantenimiento</li> <li>▪ Mecanismos de seguridad inadecuados o inexistentes</li> </ul>	Si no se instalan los dispositivos de seguridad necesarios o se lleva a cabo el mantenimiento, es posible que el ascensor acabe fallando.
	Atrapamiento		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puerta/Trampilla de acceso al foso</li> <li>▪ Puerta del elevador</li> </ul>	Durante el cierre de la trampilla de acceso al foso o la puerta al elevador de servicio, el trabajador está expuesto a posibles atrapamientos en el proceso.

Tabla 6.3. Lista de riesgos específicos en la base del aerogenerador

Ubicación de estudio	Zona	Riesgos identificados	Factores de riesgo	Descripción
Acceso al aerogenerador y base	Común	Incendio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Instalaciones eléctricas</li> <li>▪ Instalaciones mecánicas</li> <li>▪ Materiales inflamables</li> </ul>	En las zonas donde haya instalaciones eléctricas o mecánicas, existe el riesgo de incendio, el cual puede extenderse a través de todo el aerogenerador si no es controlado o erradicado.
		Contacto con objetos en caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Componentes de las instalaciones de los niveles superiores</li> <li>▪ Equipo y/o herramientas en los niveles superiores</li> <li>▪ Partes de la estructura</li> </ul>	Si los equipos de los niveles superiores fallan, esto puede provocar el desprendimiento de alguno de sus componentes y caer a los niveles inferiores, así como cualquier equipo o herramienta que se haya dejado en niveles superiores. También pueden caer partes de la propia estructura si el aerogenerador sufriera los daños necesarios.

		Golpes/ Cortes/ Magulladuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herramientas y equipo</li> <li>Estructuras metálicas</li> </ul>	Las rebabas de la estructura o las carcasas metálicas de algunas instalaciones pueden ocasionar cortes en el cuerpo humano, así como ciertas herramientas con filo. Por otro lado, la robustez de la estructura y la mayoría de los elementos de la maquinaria pueden causar daños con los impactos.
		Posturas forzadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espacios confinados o de escasas dimensiones</li> </ul>	Las dimensiones de los espacios de trabajo, como el foso, pueden forzar al trabajador a adoptar posturas poco saludables durante un tiempo prolongado.
		Sobreesfuerzos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de herramientas de manera inadecuada o en posturas no recomendadas</li> </ul>	El uso de herramientas con una postura o procedimiento inadecuado puede ser dañino para la salud física del trabajador.

Tabla 6.4. Lista de riesgos comunes al acceso y la base del aerogenerador

### 6.5.3. Riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador

Ubicación de estudio	Zona	Riesgos identificados	Factores de riesgo	Descripción
Torre	Plataforma del transformador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choque eléctrico</li> <li>Quemaduras</li> <li>Incendio</li> <li>Explosión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Componentes del transformador</li> <li>Formación de arco eléctrico</li> </ul>	Debido a la presencia de energía eléctrica a altas tensiones y los elevados niveles de calor disipado en ciertos componentes, el choque eléctrico y las quemaduras son riesgos muy presentes.
	Plataforma de la corona/ sistema de orientación	Exposición a sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grasa</li> <li>Aceite mineral</li> <li>Gas (N<sub>2</sub>)</li> <li>Fluido hidráulico</li> <li>Productos de limpieza</li> </ul>	El sistema de orientación requiere de múltiples sustancias para su funcionamiento: grasas y aceites para su lubricación, el N <sub>2</sub> para los cilindros, productos de limpieza para solucionar fenómenos como la corrosión y el fluido hidráulico. Muchas de estas sustancias pueden ser corrosivas y/o tóxicas para el ser humano.
		Proyección de sustancias y/o partículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Circuito hidráulico</li> </ul>	Las fugas en el circuito hidráulico pueden ocasionar la exposición del trabajador a las sustancias que lo recorren.
	Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mecanismos del sistema de orientación</li> <li>Sistema de orientación: pinzas de freno</li> <li>Circuito hidráulico: pinzas de freno</li> <li>Fallo en los sistemas de seguridad</li> </ul>	Sin la debida precaución o procedimiento, los dispositivos mecánicos instalados en la plataforma de la corona pueden ocasionar atrapamientos durante su funcionamiento. Además, si los sistemas de frenado fallaran, el sistema podría ponerse en marcha de forma no intencionada.	

<b>Común</b>	Caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mal estado de la escala de servicio</li> <li>▪ Mal estado de la línea de anclaje rígida</li> <li>▪ Falta de elementos de seguridad en accesos y huecos</li> <li>▪ Procedimiento equivocado en el cierre de accesos/trampillas</li> <li>▪ Falta de puntos de anclaje</li> <li>▪ Fallo en el elevador y/o sus sistemas de seguridad</li> <li>▪ Falta de EPI necesario</li> <li>▪ Mal estado de EPI</li> </ul>	Cualquier falta o fallo de los elementos de seguridad, equipos de trabajo o EPI necesarios para una correcta circulación a través de la torre del aerogenerador y sus plataformas intermedias, puede ocasionar caídas a distinto nivel de los trabajadores en su interior.
	Caída al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mal estado del suelo de las plataformas</li> <li>▪ Grasa, aceite mineral y productos de limpieza en superficies</li> </ul>	La presencia de líquidos en las superficies de las plataformas, la escala o el elevador pueden causar caídas de los trabajadores.
	Contacto con objetos en caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Accesos, trampillas y huecos sin cerrar o no protegidos</li> <li>▪ Herramientas, equipo y materiales no controlados o asegurados</li> </ul>	Las herramientas, equipo y materiales que se dejen sin vigilancia, no se dejen colocados en lugares apropiados o no estén asegurados pueden caer a través de accesos, trampillas y huecos que no hayan sido bloqueados.
	Caída del elevador de servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escaso o inadecuado mantenimiento</li> <li>▪ Mecanismos de seguridad inadecuados o inexistentes</li> <li>▪ Superar el peso máximo permitido en el elevador</li> </ul>	Es necesaria la realización de revisiones periódicas para asegurar un uso seguro y continuado del elevador, además deben respetarse las medidas de peso límite establecidas.
	Desplome de la estructura de la torre o sus plataformas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fallo en las condiciones de la estructura o plataformas</li> <li>▪ Superar el peso máximo en las plataformas</li> </ul>	La falta de revisiones de la estructura o sobrepasar el peso máximo recomendado en las plataformas puede resultar en su deterioro o desplome.

		Golpes/Cortes/ Magulladuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Herramientas y equipo</li> <li>▪ Estructuras metálicas: escala, elevador, plataformas, elementos de unión de la torre</li> <li>▪ Elevador en funcionamiento</li> </ul>	Rebabas, elementos afilados en los equipos de trabajo o las herramientas y la exposición al exterior cuando el elevador está en marcha exponen a los trabajadores a lesiones varias.
		Atrapamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trampillas de los accesos</li> <li>▪ Falta de elementos de protección en el elevador</li> <li>▪ Entrada y salida del elevador</li> </ul>	El cierre de los accesos entre plataformas puede causar atrapamientos si no se procede con cautela. Al usar el elevador, si existen huecos en las paredes del habitáculo, es probable que ocurran atrapamientos en el ascenso o descenso. También puede ocurrir con la puerta de acceso al entrar o salir del elevador.
		Choque eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conductores de baja tensión</li> <li>▪ Conductores de alta tensión</li> <li>▪ Operaciones en los armarios eléctricos</li> <li>▪ Derivaciones a tierra deficientes</li> <li>▪ Incumplir las distancias de seguridad</li> <li>▪ No respetar los procedimientos</li> <li>▪ Mal uso de los enclavamientos del transformador</li> <li>▪ Estado inadecuado de los enclavamientos del transformador</li> </ul>	La exposición a instalaciones eléctricas y a los conductores del aerogenerador abren la posibilidad al contacto eléctrico, tanto directo como indirecto. Así mismo, incumplir las distancias o procedimientos con las zonas de riesgo eléctrico es exponerse a una alta probabilidad de choque eléctrico.
		Posturas forzadas/ Sobreesfuerzos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espacios confinados o de escasas dimensiones</li> <li>▪ Uso de herramientas de manera inadecuada o en posturas no recomendadas</li> <li>▪ Ascenso o descenso por la escala</li> </ul>	Las dimensiones reducidas de los espacios de trabajo, posturas inadecuadas en el uso de las herramientas, el transporte incorrecto de cargas y el desplazamiento inadecuado o excesivo por la escala de servicio desencadenan el riesgo de lesiones en el cuerpo humano.

Tabla 6.5. Lista de riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador

#### 6.5.4. Riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador

Ubicación de estudio	Zona	Riesgos identificados	Factores de riesgo	Descripción
<b>Góndola</b>	<b>Interior</b>	Caída de altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escotilla/Puerta lateral y/o trasera</li> <li>▪ Trampilla inferior de acceso a la góndola</li> <li>▪ Falta de EPI necesario</li> <li>▪ Mal estado de EPI</li> <li>▪ Escasez de puntos de anclaje</li> </ul>	Tanto la ausencia de EPI como su inadecuado mantenimiento pueden ser perjudiciales a la hora de realizar las operaciones de trabajo. Los accesos abiertos suponen un factor de riesgo de caída de altura que no puede, ni debe ser, ignorado.
		Contacto con objetos en caída a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materiales cerca de la abertura superior de la góndola</li> <li>▪ Uso de los equipos de elevación de cargas: puente grúa o polipasto</li> </ul>	Es posible que, si el acceso superior de la góndola está abierto, objetos del exterior puedan alcanzar al trabajador en el interior. Las operaciones de elevación de cargas habilitan la posibilidad de dejar caer los objetos pesados sobre el operario.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atrapamiento</li> <li>▪ Golpes/Cortes/Magulladuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eje rápido</li> <li>▪ Multiplicadora</li> <li>▪ Eje lento</li> <li>▪ Acoplamiento</li> <li>▪ Disco o sistemas de frenado</li> <li>▪ Elementos móviles del generador</li> </ul>	Los componentes móviles del interior de la góndola que no estén debidamente aislados o se pongan en funcionamiento de forma inesperada pueden poner en riesgo la salud física de los empleados.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Choque eléctrico</li> <li>▪ Quemaduras</li> <li>▪ Incendio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Armarios eléctricos</li> <li>▪ Generador</li> <li>▪ Conductores de baja tensión</li> <li>▪ Circuitos eléctricos (como el del puente grúa)</li> <li>▪ Materiales inflamables</li> </ul>	La presencia de circuitos eléctricos, tanto en el interior de los equipos como en las conexiones entre ellos, exponen a los seres humanos al contacto eléctrico y/o a quemaduras por electrocución. Asimismo, en un entorno de esa naturaleza se abre la posibilidad de la generación de un incendio en la góndola.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Explosión</li> <li>▪ Exposición a sustancias químicas</li> <li>▪ Proyección de sustancias y/o partículas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Circuito hidráulico: acumuladores, fluidos y gases a altas presiones</li> </ul>	Debido a las altas presiones dentro del circuito hidráulico, cualquier deficiencia o avería no observada en el mismo puede ocasionar la formación de una explosión.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desplome de la estructura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso incorrecto del puente grúa o el polipasto</li> </ul>	Un uso indebido o la falta de formación con el equipo pueden desencadenar una serie de resultados catastróficos en la estructura.

	<b>Exterior (capota)</b>	Trabajo a bajas temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Climatología de la zona</li> </ul>	Si el parque ha sido construido en una región particularmente fría, la temperatura a grandes alturas podría suponer un riesgo o un agravante en la seguridad del trabajador.
		Caída de altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Condiciones climatológicas</li> <li>▪ Estado de la superficie de trabajo</li> <li>▪ Desplome de la superficie (fibra en mal estado)</li> <li>▪ Falta de EPI necesario</li> <li>▪ Mal estado de EPI</li> <li>▪ Escasez de puntos de anclaje</li> </ul>	Situaciones climáticas como las lluvias, los deslumbramientos directos o indirectos debidos a la radiación solar, las posibles fuertes rachas de viento o condiciones similares pueden ocasionar la caída del trabajador desde la góndola. Todas las superficies de trabajo que hayan sido descuidadas o estén resbaladizas, como puede ser un suelo mojado, con restos de hielo o con manchas de productos químicos, podrían desestabilizar o derribar al operario durante sus deberes.
		Caída al mismo nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Condiciones climatológicas</li> <li>▪ Estado de la superficie de trabajo</li> </ul>	Aunque la severidad vinculada a este riesgo no puede, ni debe, ser comparada con la de las caídas de altura, el operario podría tropezarse sobre el suelo de la capota, produciendo, de manera involuntaria, una serie de lesiones sobre su cuerpo.
		Electrocución o choque eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tormenta eléctrica</li> </ul>	En el exterior, sin ningún tipo de cubierta o protección y a una gran altura del nivel del suelo, una tormenta eléctrica es un enorme factor de riesgo al que exponerse.
		Caída de objetos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Herramientas del operario</li> <li>▪ Casco de protección</li> <li>▪ Objetos sin sujeción</li> </ul>	Cuando el trabajador esté sobre la capota, es posible que suelte de forma involuntaria sus herramientas o que pierda cualquier objeto no asegurado.
<b>Rotor</b>	<b>Buje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atrapamiento</li> <li>▪ Golpes/Cortes/Magulladuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eje rápido</li> <li>▪ Acoplamiento</li> <li>▪ Sistema de cambio de paso de las palas</li> </ul>	Cualquier elemento móvil o rotatorio del interior del buje puede derivar en un caso de atrapamiento o daños directos sobre el operario.
		Exposición a atmósferas peligrosas en espacios confinados: insuficiencia de oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sustancias químicas en espacio reducido</li> </ul>	La presencia del N <sub>2</sub> de los acumuladores o productos de limpieza en un espacio tan reducido da lugar al riesgo de asfixia.
		Incendio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materiales inflamables</li> <li>▪ Instalaciones mecánicas</li> <li>▪ Elementos eléctricos</li> </ul>	Con la presencia de múltiples instalaciones, tanto mecánicas como eléctricas, en un espacio reducido, el riesgo de incendio tiene altas probabilidades.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exposición a sustancias químicas</li> <li>▪ Proyección de sustancias y/o partículas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Productos de limpieza</li> <li>▪ Circuito hidráulico</li> </ul>	El sistema hidráulico se extiende también hasta el interior del buje para accionar el sistema de cambio de paso de las palas.
		Choque eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Circuito hidráulico: elementos eléctricos</li> </ul>	Los motores y las bombas utilizadas en los circuitos del sistema hidráulico son focos eléctricos, los cuales pueden ser considerados generadores de riesgo eléctrico.

	<b>Palas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atrapamiento</li> <li>▪ Golpes/Cortes/Magulladuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acoplamiento</li> <li>▪ Sistema de cambio de paso de las palas</li> <li>▪ Espacio interno de las palas</li> </ul>	<p>Los elementos acopladores entre las palas y el buje, así como los componentes móviles del sistema de cambio de paso, pueden generar un conjunto de daños o atrapamientos.</p> <p>Durante los procesos que componen el mantenimiento de las palas, el trabajador podría quedar atascado en el espacio confinado que existe en el interior de estas.</p>
		Exposición a sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lijado y reparación de las palas</li> </ul>	<p>Para la reparación de fisuras o grietas en las palas, el operario debe proceder al lijado de estas y a la aplicación de resinas (resinas poliéster, epoxi y adhesivos varios), exponiéndolo a polvo de materiales como la fibra de vidrio, fibra de carbono o madera.</p>
		Exposición a atmósferas peligrosas en espacios confinados: incendio y/o explosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lijado y reparación de las palas</li> </ul>	<p>El polvo de las palas en suspensión y la presencia de resinas inflamables en un recinto reducido, categorizan el espacio de trabajo como una zona peligrosa o un espacio confinado con un riesgo real de explosión.</p>
	<b>Común</b>	Fatiga, cansancio o mareos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trabajo a altas temperaturas en espacios confinados o reducidos</li> </ul>	<p>En el caso de aquellos parques construidos en regiones de altas temperaturas, llevar a cabo las operaciones de mantenimiento en espacios confinados puede ocasionar estados negativos en el cuerpo humano, como la fatiga, el cansancio, el mareo o, incluso, la inconsciencia.</p>
		Caída de altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desplome de la superficie: fibra en mal estado, grietas, roturas y fisuras</li> </ul>	<p>Dentro del buje, en la nariz o en el interior de las palas, una fractura o una fisura ignorada en la fibra podría ocasionar un riesgo de caída de altura.</p>
		Desplome de la estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operaciones de mantenimiento con condiciones climatológicas adversas</li> </ul>	<p>Realizar las debidas operaciones de mantenimiento cuando el aerogenerador está expuesto a vientos o corrientes de aire con una velocidad superior a la recomendada por el fabricante, pone en riesgo la estabilidad de la maquinaria.</p>
<b>Góndola y rotor</b>	<b>Común</b>	Caída de altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puertas, trampillas, huecos, accesos y escotillas</li> <li>▪ Uso incorrecto del puente grúa o el polipasto</li> <li>▪ Materiales (como la fibra) en mal estado</li> <li>▪ Falta de puntos de anclaje</li> <li>▪ Falta de EPI necesario</li> <li>▪ Mal estado de EPI</li> </ul>	<p>La escasez de seguridad en cualquiera de los accesos de la estructura o en sus interiores puede ocasionar la caída de altura. Así como, no asegurarse de que se ha completado el procedimiento de cierre de dichos elementos de acceso.</p> <p>Es posible que el estado de los EPI necesarios ponga en riesgo al trabajador, como podría ser el caso de un arnés de seguridad deteriorado.</p>
		Desplome de la estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materiales (como la fibra) en mal estado</li> <li>▪ Mantenimiento insuficiente o deficiente</li> <li>▪ Sobrepassar el peso máximo de la estructura en la góndola, el buje o las palas</li> </ul>	<p>El estado deficiente de los materiales, la escasez de las debidas y adecuadas revisiones periódicas o la ignorancia de los procedimientos de seguridad, facilitan en gran medida la ocurrencia de múltiples eventos desastrosos relacionados con la estructura de la maquinaria.</p>
		Exposición a sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Soldadura</li> </ul>	<p>La inhalación de los gases o humos generados durante los procesos de soldadura puede perjudicar la salud del cuerpo humano.</p>

		Posturas forzadas/ Sobreesfuerzos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espacios confinados o reducidos</li> <li>▪ Transporte de cargas pesadas</li> </ul>	<p>Trabajar en los habitáculos de escasas dimensiones propicia el uso de posturas forzadas e inadecuadas.</p> <p>Elevar cargas pesadas sin hacer uso del equipo instalado para ello en el aerogenerador es un riesgo que conlleva posibles y severas lesiones.</p>
--	--	--------------------------------------	---	--

Tabla 6.6. Lista de riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador

## 6.6. Método de estimación de los riesgos

Tras el proceso de identificación de los riesgos específicos y comunes de todas las zonas del aerogenerador que entran en juego durante su mantenimiento, debe llevarse a cabo la etapa de estimación de riesgos, donde se clasificarán, principalmente, en función de su severidad y probabilidad, en otras palabras, según el nivel de daño que dichos riesgos pueden ejercer sobre el trabajador y la frecuencia con la que pueden llegar a ocurrir.

### 6.6.1. Daño potencial/Severidad

La severidad o daño potencial de un riesgo puede ser clasificado en tres grandes grupos, esencialmente en función de la gravedad del daño ejercido sobre el cuerpo humano y la zona afectada por el mismo:

- **Ligeramente dañino:** lesiones sin baja laboral o con baja de menos de 10 días naturales.
- **Dañino:** lesiones con bajas superiores a 10 días naturales.
- **Extremadamente dañino:** lesiones de alta gravedad que pueden afectar a varias personas y provocar consecuencias permanentes o mortales.

	Ligeramente Dañino (LD)	Dañino (D)	Extremadamente Dañino (ED)
<b>Ejemplos de referencia para la severidad de los riesgos</b>	Daños superficiales	Laceraciones	Amputaciones
	Cortes leves	Quemaduras	Fracturas mayores
	Pequeñas magulladuras	Conmociones	Intoxicaciones
	Irritación de los ojos	Torceduras importantes	Lesiones múltiples
	Incomodidad	Fracturas menores	Lesiones fatales
	Molestias	Sordera	Cáncer
	Dolor de cabeza	Dermatitis	Discapacidad severa permanente
	Mareos	Asma	Enfermedad pulmonar obstructiva
	Malestar	Trastornos músculo esqueléticos	Accidente cerebrovascular
	Fatiga	Enfermedad incapacitante menor	Cualquier enfermedad crónica que acorte severamente la vida

Tabla 6.7. Ejemplos de referencia para la severidad de los riesgos

### 6.6.2. Frecuencia/Probabilidad de ocurrencia

La frecuencia o probabilidad con la que ocurren los daños puede clasificarse en tres grandes grupos en función de su índice de ocurrencia:

- **Probabilidad alta:** el daño aparece siempre o de manera frecuente.
- **Probabilidad media:** el daño se producirá en algunas ocasiones.
- **Probabilidad baja:** el daño ocurrirá en contadas ocasiones o tendrá pocas posibilidades de que se produzca.

### 6.6.3. Niveles de riesgo

Realizando la intersección entre las consecuencias de los daños y su frecuencia, se obtendrán los niveles de riesgo correspondientes, mediante los cuales podrá decidirse si es necesaria la implantación de un procedimiento de control o planificación de acción preventiva para reducir o controlar los riesgos. Además, la magnitud y necesidad de repetición de estas actividades serán asignadas, de forma proporcional, según el nivel de riesgo establecido.

		Daño potencial/Severidad		
		Ligeramente Dañino (LD)	Dañino (D)	Extremadamente Dañino (ED)
Frecuencia/ Probabilidad de ocurrencia	Baja (B)	Riesgo trivial (T)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)
	Media (M)	Riesgo tolerable (TO)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)
	Alta (A)	Riesgo moderado (MO)	Riesgo importante (I)	Riesgo intolerable (IN)

Tabla 6.8. Niveles de riesgo en función de la severidad y probabilidad de ocurrencia [39]

Las definiciones para cada uno de los niveles de riesgo, así como las acciones preventivas o de control y sus frecuencias necesarias, son las siguientes:

Nivel de riesgo	Acción preventiva y frecuencia asociada
Riesgo trivial (T)	No es necesario llevar a cabo ninguna acción preventiva o control de riesgos.
Riesgo tolerable (TO)	La planificación preventiva actual es suficiente. No obstante, existe margen de mejora en el aspecto económico, pudiéndose optimizar el control de riesgos para elaborar soluciones más rentables. Las revisiones periódicas son necesarias para asegurar que se mantienen los niveles de control necesarios a lo largo del tiempo.
Riesgo moderado (MO)	Si es posible, teniendo en cuenta la naturaleza del riesgo, se debe hacer todo lo posible para reducir el nivel del riesgo. En el caso de un riesgo moderado asociado a un daño potencial extremadamente dañino, es de especial importancia determinar con precisión la probabilidad de este, de manera que se pueda asegurar que un riesgo moderado que no puede ser reducido existe en el puesto de trabajo.
Riesgo importante (I)	La actividad laboral no puede comenzar o reanudarse hasta que el riesgo haya sido reducido. Este nivel de riesgo tendrá prioridad sobre los moderados a la hora de aplicar las acciones o recursos preventivos.
Riesgo intolerable (IN)	La actividad laboral no puede comenzar o reanudarse hasta que el riesgo haya sido reducido. Si fuese imposible reducir el riesgo, el trabajo analizado deberá prohibirse completamente.

Tabla 6.9. Definiciones de los niveles de riesgo. Acción preventiva y frecuencia asociada [39]

#### **6.6.4. Perfil base del operario de mantenimiento y elementos de seguridad**

Normalmente, la estimación de los riesgos se realizaría partiendo de un perfil base determinado para el trabajador u operario de mantenimiento. Es decir, la severidad y frecuencia de los riesgos se calcularía partiendo de un escenario en el que el personal de trabajo ya dispondría de cierta formación, así como de los elementos de protección individual, herramientas y dispositivos de seguridad necesarios para desempeñar su labor. Todas estas características (formación, EPI y elementos colectivos de seguridad) se presentarán a continuación, no con la intención de partir desde ellos como base del estudio, sino para que ayuden a alcanzar una comprensión más elevada del alcance de las acciones preventivas en el estudio de evaluación de riesgos.

#### **Perfil formativo**

Estos profesionales contarán con los siguientes cursos formativos:

- **Título de Técnico de Mantenimiento de Parques Eólicos:** como el que proporciona la Asociación Empresarial Eólica (AEE) en España, basado en los módulos formativos MF0618-2 y MF619-2 del certificado de profesionalidad ENAE 0408 “Gestión del montaje y mantenimiento de parques eólicos”, el cual está adaptado al Real Decreto 1228/2006, de 27 de octubre.
- **Título básico de Prevención de Riesgos Laborales (60 horas).**
- **Certificaciones GWO (Global Wind Organisation) de Trabajos en Altura, Primeros Auxilios, Manejo de Cargas y Extinción de Incendios.**

GWO es una organización sin ánimo de lucro creada y establecida por los mayores fabricantes y dueños de aerogeneradores de todo el mundo. Estas empresas trabajan en conjunto, identificando las actividades laborales en las que la creación de una formación normalizada sería capaz de mejorar la seguridad de los técnicos y aportar beneficios de productividad.

Este perfil formativo no es, necesariamente el único válido para poder ejecutar tareas de mantenimiento en una turbina eólica de forma certificada y segura. Sin embargo, todos los miembros del GWO están de acuerdo en que cualquier persona que trabaje con una de sus propiedades (generadores de turbina eólica, subestaciones, etc.) debe

haber completado los BST (*Basic Safety Training Standard*, Norma Básica de Formación en Seguridad) y BTT (*Basic Technical Training Standard*, Norma Básica de Formación Técnica) o, por lo menos, una formación de contenido similar que pueda convalidarse mediante el sistema de reconocimiento de la GWO, por lo que sus certificaciones son prácticamente una necesidad para aquellos que buscan desempeñar labores relacionadas con el mantenimiento de turbinas eólicas.

### Equipos de Protección Individual (EPI)

En la siguiente tabla quedan recogidos los equipos de protección individual mínimos que los técnicos de mantenimiento de aerogeneradores deben utilizar para garantizar las disposiciones mínimas de seguridad que exige la normativa. Debe tenerse en cuenta que, además de las normativas específicas de cada equipo para sus requisitos de diseño, todos ellos deben cumplir lo estipulado en el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, donde se recogen las exigencias esenciales con respecto a la salud y seguridad de los posibles usuarios.

Categoría del riesgo asociada/ Factores de riesgo presentes	EPI	Normativa	Descripción
Caída de altura	Arnés anticaída	UNE-EN 361:2002	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Arnés anticaídas.
	Cinturón anticaída	UNE-EN 358:2018	Equipo de protección individual para sujeción en posición de trabajo y prevención de caídas de altura. Cinturones y equipos de amarre para posicionamiento de trabajo o de retención.
	Absorbedor de energía con doble elemento de amarre	UNE-EN 355:2002	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Absorbedores de energía.
		UNE-EN 354:2011	Equipos de protección individual contra caídas. Equipos de amarre.
	Dispositivo anticaída deslizante	UNE-EN 353-1:2014+A1:2017	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos anticaídas deslizantes sobre línea de anclaje. Parte 1: Dispositivos anticaídas deslizantes sobre línea de anclaje rígida.
	Dispositivos de salvamento	UNE-EN 1496:2018	Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de salvamento mediante izado.
		UNE-EN 341:2011	Equipos de protección individual contra caída de altura. Dispositivos de rescate.

	Dispositivo anticaída retráctil	UNE-EN 360:2002	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos anticaídas retráctiles.
	Dispositivo de anclaje provisional	UNE-EN 795:2012 Apartado EN 795 B	Normas de seguridad de las líneas de vida horizontales provisionales.
	Conectores	UNE-EN 362:2005	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Conectores.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Focos de calor</li> <li>▪ Quemaduras</li> </ul>	Ropa de protección: torso y piernas	UNE-EN ISO 11612:2018	Ropa de protección. Ropa de protección contra el calor y la llama. Requisitos mínimos de rendimiento. (ISO 11612:2015).
Soldeo y/o procesos similares		UNE-EN ISO 11611:2018	Ropa de protección utilizada durante el soldeo y procesos afines (ISO 11611:2015).
Electricidad estática		UNE-EN 1149-5:2018	Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 5: Requisitos de comportamiento de material y diseño.
Exposición a sustancias químicas en estado líquido		UNE-EN 13034:2005+A1:2009	Ropa de protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones para la ropa de protección química que ofrece protección limitada contra productos químicos líquidos (equipos del tipo 6). <b>Tipo 6:</b> tejido con protección frente a pequeñas salpicaduras.
Arco eléctrico		UNE-EN 61482-2:2021	Trabajos en tensión. Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico. Parte 2: Requisitos.
Poca visibilidad en zonas de alto riesgo		UNE-EN ISO 20471:2013/A1:2017	Ropa de alta visibilidad. Métodos de ensayo y requisitos.
Exposición a condiciones climatológicas adversas		UNE-EN 343:2019	Ropa de protección. Protección contra la lluvia.
Bajas temperaturas*		UNE-EN 342:2017	Ropas de protección. Conjuntos y prendas de protección contra el frío.
Posición arrodillada de trabajo		UNE-EN 14404:2005+A1:2010	Equipos de protección individual. Rodilleras para trabajos en posición arrodillada.
Riesgo eléctrico		Calzado de seguridad S3	UNE-EN ISO 20345:2022
Golpes, cortes, magulladuras	Protección contra objetos punzantes. Protección contra impactos y caídas de objetos.		
Exposición a productos químicos	Tejido y suela resistente al aceite y otras sustancias químicas.		
Deslizamiento	Suela resistente al deslizamiento en entornos susceptibles.		
Salpicaduras de metal fundido	Calzado de protección	UNE-EN ISO 20349-2:2017/A1:2020	Protección frente a riesgos de fundición y soldadura.

Riesgo eléctrico	Guantes de protección	UNE-EN 16350:2014	Propiedades electrostáticas (Trabajos fuera del transformador).
Quemaduras		UNE-EN 60903:2005	Guantes con propiedades aislantes (Trabajos de alta tensión > 1kV).
Golpes, cortes, magulladuras		UNE-EN 407:2020	Protección frente a riesgos térmicos.
Impactos externos		UNE-EN 388:2016+A1:2018	Protección contra los posibles riesgos mecánicos.
Lesiones por perforación	Casco de protección	UNE-EN 397:2012+A1:2012	Cascos de protección para el uso industrial. Absorción de impactos externos y resistencia a la perforación.
Impactos externos			
Proyecciones de sustancias químicas o partículas en suspensión	Gafas de protección	UNE-EN 166:2002	Requisitos de rendimiento para las gafas de protección personal.
Radiación UV			
Exposición a atmósferas peligrosas en espacios confinados	Mascarilla + filtro de partículas	UNE-EN 140:1999	Equipos de protección respiratoria (mascarilla).
		UNE-EN 143:2022	Equipos de protección respiratoria (filtro para partículas).

**\* Bajas temperaturas:** la ropa de protección de los trabajadores sólo cumplirá con los requisitos de esta norma si la región donde se desarrolla la actividad laboral está expuesta a bajas temperaturas.

Todos los equipos de protección individual deben contar con el marcado CE, siguiendo el Reglamento 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los equipos de protección individual. En esta misma normativa, se establece que el fabricante debe contar con una Declaración UE de conformidad y proporcionar cierta información esencial sobre el EPI: datos técnicos, identificación del producto, método de utilización, mantenimiento requerido, entorno laboral objetivo, categoría y normativa aplicada.

Los EPI, en función del riesgo para el que fueron diseñados, están clasificados en:

- Categoría I: pensados para proteger frente a riesgos mínimos.
- Categoría II: su objetivo es enfrentar riesgos de grado medio o elevado. Sin embargo, no están vinculados a aquellos de consecuencias mortales o permanentes.
- Categoría III: este nivel es exclusivo para los riesgos muy graves, que puedan causar la muerte o lesiones irreversibles.

Tabla 6.10. Equipos de Protección Individual de los operarios de mantenimiento

## Herramientas necesarias para el mantenimiento

Herramientas necesarias	Tarea relacionada
Llaves de torsión de grado industrial	Apretar o aflojar los pernos y tuercas de los diversos componentes del aerogenerador con sistemas de sujeción.
Juego de destornilladores	Ajustar, fijar o retirar elementos de la instalación.
Alicates	Sujetar elementos o cortar el cableado de las instalaciones eléctricas del aerogenerador.
Martillos y mazos	Procedimientos de montaje o desmontaje, así como el ajuste de piezas dentro de la instalación.
Lijadoras y amoladoras	Sólo en caso de encontrar fisuras, grietas o malformaciones en la inspección de las palas, se utilizarán estas herramientas para su reparación.
Pinceles y rodillos	
Resinas epoxi	
Linterna o casco de protección con iluminación incorporada	Iluminar el entorno de las instalaciones, especialmente en zonas confinadas o de difícil acceso.
Instrumentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Multímetro</li> <li>• Medidores de vibraciones</li> <li>• Termómetro infrarrojo</li> <li>• Cámara termográfica</li> <li>• Dispositivo de medida de la calidad del aire</li> <li>• Niveles</li> <li>• Cinta métrica</li> <li>• Láser de alineación</li> </ul>	Realizar las pruebas, mediciones y verificaciones necesarias sobre el rendimiento, comportamiento o estado de los distintos elementos de la instalación.
Equipo de soldadura	Reparar posibles daños estructurales.
Equipo de comunicación (dispositivos portátiles)	Informar a los compañeros de cualquier incidencia, emergencia o anomalía.
Binoculares profesionales	Inspección visual del estado exterior de los componentes del aerogenerador.
Dron RTK (si es posible)	

Tabla 6.11. Herramientas de los operarios de mantenimiento

## Equipos de protección colectiva y elementos de seguridad instalados en el aerogenerador

Categoría del riesgo asociada	Equipo de protección colectiva y elementos de seguridad	Normativa	Descripción
Caída de altura	Dispositivos de anclaje	UNE-EN 795:2012	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos de anclaje.
	Línea de anclaje rígida	UNE-EN 353-1:2014+A1:2017	Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos anticaídas deslizantes sobre línea de anclaje rígida.
Puesta en marcha accidental	Interruptor modo local/remoto	UNE-EN 50308:2005	Permite activar/bloquear las acciones de control remotas.
Atrapamiento	Carcasas de protección		Instalación de carcasas sobre los elementos mecánicos en movimiento de la instalación.
	Dispositivo de bloqueo del rotor		Sistema de bloqueo sobre uno o ambos ejes de giro, evitando el atrapamiento con los elementos mecánicos en movimiento.
	Dispositivo de bloqueo del sistema de orientación de las palas		Sistema de bloqueo sobre las operaciones de orientación de las palas, evitando el atrapamiento en su interior o en el buje.
Choque eléctrico	Dispositivo de desconexión de la red		Al accionarse permite el aislamiento eléctrico del aerogenerador con respecto a la subestación.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atrapamiento</li> <li>▪ Choque eléctrico</li> <li>▪ Quemaduras</li> <li>▪ Proyección de partículas</li> </ul>	Dispositivos de desconexión de los sistemas de potencia		Durante las tareas de mantenimiento, permite desconectar los diferentes grupos de potencia del aerogenerador: eléctrico, mecánico, neumático y/o hidráulico.
Trabajos con máquina en funcionamiento	Sistema de parada		Permite parar el funcionamiento de la turbina eólica. Sin embargo, no implica una desconexión eléctrica de sus sistemas.
Desplome de la estructura	Limitador de velocidad del rotor		Impide que el rotor y sus palas sobrepasen la velocidad máxima de diseño.

Tabla 6.12. Equipos de protección colectiva y elementos de seguridad del aerogenerador

## 6.7. Estimación, valoración y control de los riesgos para el mantenimiento de un aerogenerador

A la hora de establecer los niveles de riesgo, partiremos desde unas condiciones iniciales nulas (operarios con la formación básica indispensable y las herramientas necesarias), con la intención de entender los riesgos de las tareas de mantenimiento en su totalidad. Además, de esta forma una vez aplicadas las acciones preventivas, podremos aislar posteriormente aquellos riesgos que no puedan ser reducidos debido a su naturaleza.

### 6.7.1. Riesgos previos al acceso del aerogenerador

Ubicación de estudio	Riesgos identificados	Frecuencia	Severidad	Acción preventiva	Frecuencia	Severidad
		Nivel de riesgo			Nuevo nivel de riesgo	
Terreno del parque eólico	Accidente de circulación	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación y cumplimiento de las señales de tráfico, advertencia y presencia de desniveles.</li> <li>• Instalación de múltiples barreras u obstáculos que logren impedir la circulación en zonas de riesgo.</li> <li>• Instalación de un limitador de velocidad en el vehículo.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
	Incendio (exterior)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deforestación de la zona del parque eólico y retirada de materiales inflamables en los alrededores de los equipos, imposibilitando así la acción de la propagación natural.</li> <li>• Respetar las prohibiciones y buenas prácticas (como no fumar).</li> <li>• Instalación de medios de extinción manual y avisos de alarmas automáticas con comunicación directa al servicio de bomberos.</li> <li>• Formación de actuación para el personal.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
	Golpes (vehículo)	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación y cumplimiento de las señales de tráfico, advertencia y presencia de desniveles.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
		<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
	Electrocución o choque eléctrico (exterior)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No llevar a cabo trabajos de mantenimiento con avisos de tormenta eléctrica.</li> <li>• Uso de guantes de protección eléctrica.</li> <li>• Uso de ropa y calzado de protección eléctrica.</li> <li>• Instalación de señales en zonas de riesgo.</li> <li>• Verificación previa del estado de la toma de tierra.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	

	Caída al mismo nivel	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)	No se requiere ninguna acción específica.	-	
		<b>Riesgo trivial (T)</b>				
	Caída de restos de hielo desde las palas	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del casco protector de seguridad en todo momento.</li> <li>• Revisión visual del estado de las palas previo ingreso al aerogenerador.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
	Presencia de animales peligrosos	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de barreras y elementos disuasorios alrededor del parque eólico.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	

Tabla 6.13. Estimación, valoración y control de los riesgos previos al acceso del aerogenerador

### 6.7.2. Riesgos específicos y comunes en el acceso y la base del aerogenerador

Ubicación de estudio	Riesgos identificados	Frecuencia	Severidad	Acción preventiva	Frecuencia	Severidad
		Nuevo nivel de riesgo			Nuevo nivel de riesgo	
Acceso al aerogenerador	Caída a distinto nivel (escaleras de acceso)	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)	No se requiere ninguna acción específica.	-	
		<b>Riesgo trivial (T)</b>				
	Caída al mismo nivel	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)	No se requiere ninguna acción específica.	-	
		<b>Riesgo trivial (T)</b>				
	Atrapamientos	Baja (B)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de un sistema de retención en la puerta de acceso.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
		<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	

Tabla 6.14. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos en el acceso al aerogenerador

Ubicación de estudio	Riesgos identificados	Frecuencia	Severidad	Acción preventiva	Frecuencia	Severidad
		Nivel de riesgo			Nuevo nivel de riesgo	
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>Electrocución o choque eléctrico</li> <li>Quemaduras</li> </ul>	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obedecer el protocolo y normativa de actuación en zonas de riesgo eléctrico.</li> <li>Uso de guantes de protección eléctrica.</li> <li>Uso de ropa y calzado de protección eléctrica.</li> <li>Instalación de señales en zonas de riesgo.</li> <li>No pisar el cableado y no transportar objetos en el cuerpo que puedan rozar el aislamiento de los conductores.</li> <li>Previa desconexión de la energía del foso.</li> <li>Inspeccionar de forma periódica la instalación eléctrica.</li> <li>Parar y bloquear el aerogenerador antes de iniciar el mantenimiento.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
	Atmósferas peligrosas en espacios confinados (insuficiencia de oxígeno)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprobación y medición, previa al mantenimiento, de la existencia de fugas de SF<sub>6</sub> en las celdas. De ser así, salir de inmediato del habitáculo y del aerogenerador.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	
	Explosión (arco eléctrico)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de EPI correspondientes a la realización de actividades con riesgo de explosión por arco eléctrico.</li> <li>Prohibición del uso de celdas de maniobra con bajos niveles de SF<sub>6</sub>.</li> <li>Obedecer las instrucciones proporcionadas por el fabricante.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
<b>Riesgo moderado (MO)</b>		<b>Riesgo tolerable (TO)</b>				
Caída del elevador de servicio	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar inspecciones de carácter periódico en el ascensor.</li> <li>Instalación de sistemas de sujeción en caso de caída (como el paracaídas)</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.		
Atrapamiento (elevador y trampilla del foso)	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de los elementos de protección colectiva (barreras, obstáculos y señalizaciones) en el hueco del ascensor y alrededor de la entrada al foso.</li> <li>Instalación de sensores en el marco de la puerta del ascensor.</li> <li>Uso de guantes y calzado de protección mecánica.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)	
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>		

Tabla 6.15. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos en la base del aerogenerador

Ubicación de estudio	Zona	Riesgos identificados	Frecuencia	Severidad	Acción preventiva	Frecuencia	Severidad			
			Nivel de riesgo			Nuevo nivel de riesgo				
Acceso y base	Común	Incendio	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respetar las prohibiciones y buenas prácticas (como no fumar o usar herramientas que no generen chispas).</li> <li>Instalación de medios de extinción manual, detectores de humo, sistemas de extinción automáticos y alarmas con comunicación directa al servicio de bomberos.</li> <li>Formación de actuación para los operarios.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)			
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.				
		Contacto con objetos en caída a distinto nivel	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso del casco protector de seguridad en todo momento.</li> <li>Siempre cerrar las trampillas de acceso entre niveles.</li> <li>Nunca dejar sin recoger material o herramientas en niveles superiores.</li> <li>Realización de varias inspecciones visuales de carácter periódico del estado de la torre, sus plataformas intermedias y elementos de acceso.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)		
			<b>Riesgo importante (I)</b>				<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			
		Golpes/ Cortes/ Magulladuras	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)			<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de casco de protección.</li> <li>Uso de ropa, guantes y calzado de protección.</li> <li>Instalación de señalización y carcassas de protección en los elementos mecánicos o cortantes.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)	
			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>					<b>Riesgo trivial (T)</b>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Posturas forzadas</li> <li>Sobreesfuerzos</li> </ul>	Alta (A)	Ligeramente dañino (LD)				<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un estudio ergonómico para el modelo concreto del aerogenerador a mantener.</li> <li>Formación y entrenamiento específico para los operarios sobre los movimientos correctos y el uso adecuado de las varias herramientas necesarias.</li> </ul>	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>						<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	

Tabla 6.16. Estimación, valoración y control de los riesgos comunes al acceso y la base del aerogenerador

### 6.7.3. Riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador

Ubicación de estudio	Zona	Riesgos identificados	Frecuencia	Severidad	Acción preventiva	Frecuencia	Severidad	
			Nuevo nivel de riesgo			Nuevo nivel de riesgo		
Torre	Plataforma del transformador	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Choque eléctrico</li> <li>▪ Quemaduras</li> </ul>	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obedecer el protocolo y normativa de actuación en zonas de riesgo eléctrico.</li> <li>• Uso de guantes de protección eléctrica.</li> <li>• Uso de ropa y calzado de protección eléctrica.</li> <li>• Uso de EPI frente al riesgo de arco eléctrico.</li> <li>• Instalación de señales en zonas de riesgo.</li> <li>• No pisar el cableado y no transportar objetos en el cuerpo que puedan rozar el aislamiento de los conductores.</li> <li>• Inspeccionar de forma periódica la instalación eléctrica.</li> <li>• Nunca manipular el transformador sin llevar a cabo su desconexión previa.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)	
			<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>		
		Incendio	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de medios de extinción de carácter manual, detectores de humo, sistemas de extinción automáticos y alarmas con comunicación directa al servicio de bomberos.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>				<b>Riesgo moderado (MO)</b>	
		Explosión (arco eléctrico)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de todos los EPI correspondientes a la realización de actividades con riesgo de explosión por arco eléctrico.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>				<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	

Plataforma de la corona/ sistema de orientación	Exposición a sustancias químicas (líquido hidráulico, aceite, etc.)	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dejar el circuito hidráulico sin presión antes del mantenimiento.</li> <li>Uso de ropa, guantes, calzado y gafas de protección.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
		<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
	Proyección de sustancias y/o partículas	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dejar el circuito hidráulico sin presión antes del mantenimiento.</li> <li>Uso de gafas de protección certificadas frente a riesgos de proyección.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
	Atrapamiento	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de carcasas o accesorios de protección sobre los elementos mecánicos expuestos.</li> <li>Uso de guantes y calzado de protección mecánica.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
Común	Caída a distinto nivel	Alta (A)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación de elementos de protección colectiva en accesos y huecos.</li> <li>Cierre de las trampillas tras su uso, tanto en el ascenso como el descenso.</li> <li>No acercarse a los bordes, trampillas o escala sin el uso de la línea de anclaje rígida.</li> <li>Inspección de carácter periódico del elevador y la escala de servicio.</li> <li>No ascender por la torre si el viento supera la velocidad máxima indicada por el fabricante.</li> <li>No maltratar la estructura del elevador.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
		<b>Riesgo intolerable (IN)</b>			<p><b>Riesgo moderado (MO)</b></p> <p>Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.</p>	
	Caída al mismo nivel	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajar de forma limpia y ordenada, sin abandonar material o herramientas en el suelo.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
		<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
Contacto con objetos en caída a distinto nivel	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso del casco protector de seguridad en todo momento.</li> <li>Siempre cerrar las trampillas de acceso entre niveles.</li> <li>Nunca dejar sin recoger material o herramientas en niveles superiores.</li> <li>Realizar las inspecciones visuales de carácter periódico del estado de la torre, sus plataformas intermedias y elementos de acceso.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)	
	<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>		

		Caída del elevador de servicio	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de sistemas de sujeción en caso de caída (como el paracaídas).</li> <li>• Nunca sobrepasar la capacidad de carga máxima establecida por el fabricante.</li> <li>• Realizar inspecciones de carácter periódico en el ascensor.</li> <li>• Inspección del elevador (RD 1215/1997).</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	
		Desplome de la estructura de la torre o sus plataformas	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nunca sobrepasar la capacidad de carga máxima o el aforo establecido por el fabricante.</li> <li>• Realizar inspecciones de carácter periódico de las plataformas y el estado de la torre.</li> <li>• Uso de la línea de anclaje rígida.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	
		Golpes/Cortes/Magulladuras	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de casco de protección.</li> <li>• Uso de ropa, guantes y calzado de protección.</li> <li>• Instalación de señalización y carcasas de protección en los elementos mecánicos o cortantes.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
		Atrapamiento (accesos)	Baja (B)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de guantes y calzado de protección mecánica.</li> <li>• Instalación de sistemas de retención en los accesos.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
		Choque eléctrico	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de guantes de protección eléctrica.</li> <li>• Uso de ropa y calzado de protección eléctrica.</li> <li>• Instalación de señales en zonas de riesgo.</li> <li>• Evitar el contacto con los conductores.</li> <li>• Parar y bloquear el aerogenerador antes de iniciar el mantenimiento.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		Posturas forzadas/Sobreesfuerzos	Alta (A)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar un estudio ergonómico para el modelo concreto del aerogenerador a mantener.</li> <li>• Formación adaptada y entrenamiento específico para los operarios sobre los movimientos correctos y el uso adecuado de las herramientas necesarias.</li> </ul>	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	

Tabla 6.17. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos y comunes en la torre del aerogenerador

#### 6.7.4. Riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador

Ubicación de estudio	Zona	Riesgos identificados	Frecuencia	Severidad	Acción preventiva	Frecuencia	Severidad	
			Nivel de riesgo			Nuevo nivel de riesgo		
Góndola	Interior	Caída de altura	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de elementos de protección colectiva, como barandillas, alrededor del hueco de acceso.</li> <li>• En las cercanías al hueco de acceso inferior/superior y/o a la zona del puente grúa, utilizar el EPI de sujeción en todo momento.</li> <li>• Comprobación, previa a las actividades de mantenimiento, del buen estado de la puerta de evacuación lateral.</li> <li>• Comprobación, previa a las actividades de mantenimiento, de la presencia de suficientes puntos de sujeción cerca de las zonas de riesgo de caída.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	
			Riesgo importante (I)			<b>Riesgo moderado (MO)</b>  Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.		
		Contacto con objetos en caída a distinto nivel (uso del puente grúa)	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos de elevación siempre con marcado CE y con revisiones periódicas realizadas.</li> <li>• Nunca sobrepasar la capacidad máxima de carga.</li> <li>• Nunca tratar con cargas que superen las dimensiones del hueco de acceso.</li> <li>• Nunca ignorar los elementos de seguridad.</li> <li>• Uso de casco, guantes y calzado de protección en todo momento.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			Riesgo importante (I)				<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		Atrapamiento	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de carcasas o accesorios de protección sobre los elementos mecánicos expuestos.</li> <li>• Uso de guantes y calzado de protección mecánica.</li> <li>• Nunca vestir prendas o accesorios que podrían quedar atrapados por elementos mecánicos en movimiento.</li> <li>• Nunca llevar el pelo largo sin recoger, pues podría quedar atrapado en elementos mecánicos en movimiento o puertas/huecos de acceso.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			Riesgo importante (I)				<b>Riesgo moderado (MO)</b>  Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	
		Golpes/Cortes/Magulladuras	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso apropiado del puente grúa siguiendo el manual del fabricante.</li> <li>• Uso de casco de protección.</li> <li>• Uso de ropa, guantes y calzado de protección.</li> <li>• Instalación de señalización y carcasas de protección en los elementos mecánicos o cortantes.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
			Riesgo tolerable (TO)				<b>Riesgo trivial (T)</b>	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>Choque eléctrico</li> <li>Quemaduras</li> </ul>	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parar y bloquear el aerogenerador antes de iniciar el mantenimiento.</li> <li>Uso de guantes de protección eléctrica.</li> <li>Uso de ropa y calzado de protección eléctrica.</li> <li>Instalación de señales en zonas de riesgo.</li> <li>Evitar el contacto con los conductores.</li> <li>Nunca portar elementos que puedan entrar en contacto con el aislamiento de los conductores.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		Incendio	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspección previa de la puerta lateral de evacuación y el sistema de salvamento fijo de la góndola.</li> <li>Instalación de medios de extinción manual, detectores de humo, sistemas de extinción automáticos y alarmas con comunicación directa al servicio de bomberos.</li> <li>Proporcionar un sistema de salvamento portátil al operario.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	
		Explosión (arco eléctrico y circuitos a presión)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de EPI correspondientes a la realización de actividades con riesgo de explosión por arco eléctrico.</li> <li>Uso de EPI y seguimiento del protocolo de trabajo con un grupo hidráulico.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		Exposición a sustancias químicas (líquido hidráulico, aceite, etc.)	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dejar el circuito hidráulico sin presión antes del mantenimiento.</li> <li>Uso de ropa, guantes, calzado y gafas de protección.</li> <li>Ventilación adecuada del habitáculo.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>				
Proyección de sustancias y/o partículas	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dejar el circuito hidráulico sin presión antes del mantenimiento.</li> <li>Uso de gafas de protección certificadas frente a riesgos de proyección.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)		
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>			
Desplome de la estructura	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspección periódica del estado de la fibra del habitáculo.</li> <li>Nunca sobrepasar el peso máximo permitido.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)		
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b> Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.			

<b>Exterior (capota)</b>	Caída de altura	Alta (A)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del arnés de seguridad y el sistema de anclaje.</li> <li>• Durante trabajos en la capota, siempre llevar el equipo de comunicación.</li> <li>• Nunca realizar trabajos en el exterior bajo condiciones climáticas adversas.</li> <li>• Nunca sobrepasar el peso máximo establecido por el fabricante.</li> <li>• Nunca realizar trabajos externos con velocidades de viento extremas.</li> <li>• Ante la aparición de grietas en la fibra, informar y abandonar de inmediato la capota.</li> <li>• Uso de gafas con protección UV para evitar los deslumbramientos.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
		<b>Riesgo intolerable (IN)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b>	
	Trabajo a bajas temperaturas (la frecuencia dependerá de la ubicación del parque)	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultar previamente los avisos meteorológicos. No proceder con los trabajos en días con alertas por temperatura.</li> <li>• Uso de ropa térmica para los trabajos en la capota.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
		<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
	Caída al mismo nivel	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nunca realizar trabajos externos con velocidades de viento extremas.</li> <li>• Nunca realizar trabajos en el exterior bajo condiciones climáticas adversas.</li> <li>• Durante trabajos en la capota, siempre llevar el equipo de comunicación.</li> <li>• Uso de gafas con protección UV para evitar los deslumbramientos.</li> <li>• Protección de superficies con materiales antideslizantes en las zonas de riesgo.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
<b>Riesgo moderado (MO)</b>		<b>Riesgo tolerable (TO)</b>				
Electrocución o choque eléctrico (tormenta eléctrica)	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dar avisos de las condiciones climatológicas al equipo de mantenimiento. No realizar trabajos durante los días con alerta de tormenta.</li> <li>• Instalación de dispositivos pararrayos en el parque eólico.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b>		Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.
Caída de objetos	Alta (A)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aviso por el sistema de comunicación, previo a las tareas en la capota, para que nadie se encuentre en el exterior del aerogenerador.</li> <li>• Utilización del equipo/prenda portaherramientas.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)	
	<b>Riesgo intolerable (IN)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>		

<b>Rotor</b>	<b>Buje y palas</b>	Atrapamiento	Alta (A)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nunca acceder al interior del buje sin haber activado el sistema de bloqueo del rotor.</li> <li>Nunca acceder al interior del buje o las palas si existen velocidades de viento superiores a lo indicado por el fabricante.</li> <li>No portar elementos que podrían quedar atrapados en los sistemas mecánicos.</li> <li>Instalación de señalización para los espacios confinados.</li> <li>Nunca acceder al interior de las palas si no cuentan con el espacio suficiente para el cuerpo humano.</li> <li>Marcar la posición en el interior de la pala a partir de la cual existe riesgo de atrapamiento.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo intolerable (IN)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b>  Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.	
		Golpes/Cortes/Magulladuras	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de casco de protección.</li> <li>Uso de ropa, guantes y calzado de protección.</li> <li>Instalación de señalización y carcasas de protección en los elementos mecánicos o cortantes.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
		Exposición a atmósferas peligrosas en espacios confinados: insuficiencia de oxígeno y/o explosión	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antes de realizar trabajos en el interior del buje o las palas, llevar a cabo una medición previa de la calidad del aire.</li> <li>Si se detecta la presencia de partículas nocivas, hacer uso de la mascarilla de protección con filtro, además de ventilar el habitáculo. Especialmente, si se llevarán a cabo tareas de reparación en las palas.</li> <li>Verificación previa de la desenergización del habitáculo.</li> <li>Uso de protección con propiedades antiestáticas.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		Exposición a sustancias químicas (líquido hidráulico, aceite, etc.)	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dejar el circuito hidráulico sin presión antes del mantenimiento.</li> <li>Uso de ropa, guantes, calzado y gafas de protección.</li> <li>Búsqueda previa de fugas en el sistema hidráulico.</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>	
Proyección de sustancias y/o partículas	Media (M)	Dañino (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dejar el circuito hidráulico sin presión antes del mantenimiento.</li> <li>Uso de gafas de protección</li> </ul>	Baja (B)	Ligeramente dañino (LD)		
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo trivial (T)</b>			
Incendio	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Después de operaciones de reparación sobre las palas o la fibra y antes de devolver la energía eléctrica a los equipos, debe medirse la calidad del aire para comprobar la presencia de partículas en el mismo.</li> <li>Ventilar el habitáculo después de realizar operaciones de reparación de fibras o manipulación de sustancias químicas.</li> <li>Instalación de sistemas de extinción automáticos y alarmas.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)		
	<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b>  Se trata de un riesgo moderado que no puede ser reducido. La empresa preparará e informará de ello a los operarios.			

		Choque eléctrico	Media (M)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>No pisar el cableado si es posible.</li> <li>No portar elementos que puedan rozar el aislamiento del cableado.</li> <li>Desconectar la energía eléctrica de forma previa siempre que sea posible.</li> <li>Uso de guantes de protección eléctrica.</li> <li>Uso de ropa y calzado de protección eléctrica.</li> <li>Instalación de señales en zonas de riesgo.</li> </ul>	Baja (B)	Dañino (D)
			<b>Riesgo importante (I)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Fatiga, cansancio o mareos</li> <li>Posturas forzadas/ Sobreesfuerzos</li> </ul>	Alta (A)	Ligeramente dañino (LD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nunca realizar trabajos en el interior del buje y las palas en condiciones de altas temperaturas.</li> <li>Ante síntomas de malestar físico, salir del espacio reducido y tomar un descanso. Si el estado persiste, abandonar el aerogenerador.</li> <li>Formación y entrenamiento específico para los operarios sobre los movimientos correctos y el uso adecuado de las herramientas necesarias.</li> <li>Seguimiento del estudio ergonómico del aerogenerador.</li> </ul>	Media (M)	Ligeramente dañino (LD)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo tolerable (TO)</b>	
		Caída de altura	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nunca sobrepasar el peso máximo establecido por el fabricante.</li> <li>Nunca realizar trabajos en el interior del buje y las palas con velocidades de viento extremas.</li> <li>Inspección previa del estado de la fibra y la estructura.</li> <li>Ante la aparición de grietas en la fibra, informar y abandonar de inmediato el habitáculo.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b>	
		Desplome de la estructura	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspecciones de carácter periódico de la fibra del buje y las palas.</li> <li>Nunca superar el peso máximo establecido por el fabricante.</li> </ul>	Baja (B)	Extremadamente dañino (ED)
			<b>Riesgo moderado (MO)</b>			<b>Riesgo moderado (MO)</b>	

Tabla 6.18. Estimación, valoración y control de los riesgos específicos y comunes en la góndola y el rotor del aerogenerador

## 6.8. Riesgos no reducibles en el mantenimiento de un aerogenerador

Una vez se ha llevado a cabo el proceso de planificación y aplicación de la acción preventiva, todos los riesgos identificados han sido reevaluados para comprobar que ahora encajan dentro de la categoría de riesgo tolerable o trivial. No obstante, se ha podido observar que existen una serie de riesgos que, a pesar de las acciones preventivas aplicadas, no han podido ser reducidos más allá del grupo de riesgo moderado, estos casos en concreto han sucedido debido a la existencia de riesgos con un daño potencial extremadamente dañino, que no puede ser reducido, y una frecuencia de ocurrencia baja, la cual coincide con la categoría de probabilidad mínima.

Estos riesgos, a pesar de su calificación final, permitirán el desarrollo de las actividades de mantenimiento, siempre y cuando esté tanto verificado como certificado que se trata de un riesgo no reducible y que sea demostrable que la empresa bajo inspección haya implementado todas las acciones preventivas posibles para controlarlo.

Zona/Factor de riesgo	Riesgos identificados	Observaciones
Alrededores del aerogenerador	Presencia de animales peligrosos	A pesar de la instalación de barreras o elementos disuasorios, si un animal peligroso acaba accediendo al parque, los daños ocasionados a los trabajadores pueden ser severos.
Foso (interior del aerogenerador)	Atmósferas peligrosas en espacios confinados (insuficiencia de oxígeno)	En el caso de una fuga no detectada de SF <sub>6</sub> , al tratarse de un gas incoloro e inodoro, cinco veces más denso que el aire, desplazará a éste dejando al operario sin oxígeno de forma encubierta.
Elevador de servicio	Caída del elevador de servicio	El ascensor será revisado y mantenido de forma periódica, además de contar con varios elementos de seguridad, tanto activos como pasivos. Sin embargo, si ocurre una caída y todos los sistemas fallan, la severidad de los daños será, casi de forma segura, de un grado elevado.
Interior del aerogenerador	Incendio	Aunque el aerogenerador disponga de sistemas de extinción manual y/o automáticos, alarmas visuales y/o sonoras y sistemas de evacuación de emergencia, si el fuego y el humo atrapan al operario dentro de una zona reducida o confinada, las consecuencias pueden ser catastróficas.

<b>Torre Góndola Rotor (buje y palas)</b>	<b>Caída de altura/Caída a distinto nivel</b>	<p>Incluso con la instalación de barreras y materiales no deslizantes, el uso del arnés, la línea de anclaje rígida y los puntos de sujeción repartidos por las zonas de riesgo, siempre existe la posibilidad de que el equipo falle o la fibra del aerogenerador se fracture, permitiendo la caída libre del operario, tanto en el exterior (capota de la góndola) como en el interior del aerogenerador.</p>
<b>Torre Góndola Rotor (Buje y palas)</b>	<b>Desplome de la estructura o las plataformas de la torre</b>	<p>Al igual que en el caso de la caída de altura, siempre existe la posibilidad de que la propia estructura del aerogenerador se desplome, ocasionando la caída del operario o resultando en impactos extremos producidos por los restos de la instalación.</p>
<b>Exterior del aerogenerador (Alrededores o capota de la góndola)</b>	<b>Electrocución o choque eléctrico (tormenta eléctrica)</b>	<p>Puede reducirse al máximo la exposición del operario a condiciones climáticas adversas. No obstante, la posibilidad de la formación repentina de una tormenta eléctrica mientras se realizan las tareas de mantenimiento existe.</p>
<b>Góndola (interior) Rotor (buje y palas)</b>	<b>Atrapamiento</b>	<p>La frecuencia del riesgo puede minimizarse al máximo con la instalación de elementos de protección sobre los elementos mecánicos y obedeciendo un protocolo de control de vestimenta. Desgraciadamente, si llegase a ocurrir, las consecuencias pueden ser severas, dependiendo de la zona del cuerpo atrapada.</p>

Tabla 6.19. Riesgos no reducibles en el mantenimiento de un aerogenerador

## 7. Conclusiones

La idea principal del proyecto ha sido la creación de una guía mediante la cual cualquier usuario pueda comprender los fundamentos tecnológicos principales de un aerogenerador industrial de gran potencia, así como la implementación de un plan de mantenimiento adecuado para todos los componentes que lo forman y la elaboración de un estudio de evaluación de riesgos de la instalación.

Con respecto al plan de mantenimiento, se ha podido concluir que la estrategia de mantenimiento de un aerogenerador se basa principalmente en la inspección. No se lleva a cabo un mantenimiento preventivo en el que se sustituyen diversas piezas en base a una vida útil calculada por el fabricante, la normativa o la experiencia previa, sino que sólo se sustituyen o reparan los componentes cuando los sistemas de control, la instrumentación o los resultados de las inspecciones lo exigen. Se ha podido comprobar que, actualmente, existen tres niveles de inspección:

- 1) Nivel 1. Inspección online
- 2) Nivel 2. Inspección *in situ* o detallada
- 3) Nivel 3. Inspección offline

Los niveles 2 y 3 se complementan entre sí, pues durante las intervenciones detalladas, en las que un equipo de dos técnicos de mantenimiento de aerogeneradores acuden a la instalación, algunas de las actividades redactadas en el plan de mantenimiento, como pueden ser los análisis de vibraciones, las termografías, las inspecciones boroscópicas o el análisis de las tomas de aceite, requieren el transporte e instalación de aparatos de medida, incluso algunas tareas requieren el abandono previo del aerogenerador y la puesta en marcha de la instalación.

En esta memoria se ha hecho hincapié en estos dos niveles de inspección. No obstante, la tendencia actual es la de extender lo máximo posible el primer nivel, la inspección online, en todos los componentes del aerogenerador. Cada año que pasa dentro de la industria, las grandes empresas del sector avanzan en la implementación de sistemas de control remoto para sus turbinas eólicas, en la forma de cámaras termográficas en el interior de la góndola, buje y palas, el uso de drones RTK (*Real Time Kinematic*) para las

inspecciones visuales exteriores, sistemas de aviso automatizado para el estado de la lubricación de los componentes y/o cámaras móviles con control de desplazamiento remoto para la realización de inspecciones boroscópicas a distancia. Es posible que, en el futuro, la necesidad de una intervención *in situ* o detallada sea completamente mínima, lo cual es positivo desde el punto de vista de los costes y los riesgos.

Desde el punto de vista de la gestión de riesgos, existen numerosas formas de minimizar los peligros a los que los técnicos de mantenimiento están expuestos durante su actividad laboral. Por desgracia, dada la severidad o posibles consecuencias de algunos ellos, como puede ser el riesgo de caída de altura, no es posible minimizarlos y mucho menos eliminarlos por completo, se trata de una serie de riesgos con los que los operarios y empresarios deben lidiar de manera obligatoria y la única manera de combatirlos es mediante la transmisión clara de información por parte del empresario, la formación de los trabajadores, el uso de los Elementos de Protección Individual (EPI), el seguimiento del protocolo transmitido por el fabricante, el cumplimiento de la acción preventiva implementada por el servicio de prevención de la empresa, no vulnerar los dispositivos de protección colectivos del aerogenerador y obedecer las señalizaciones de la instalación.

En conclusión, una comprensión robusta del modelo del aerogenerador a tratar, el seguimiento de un plan de mantenimiento personalizado y la aplicación de un estudio completo de evaluación de riesgos son las armas principales de las empresas del sector para, no sólo asegurar un funcionamiento continuo y una extensa vida útil de sus aerogeneradores, sino también para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores que los mantienen.

## 8. Conclusions

The main idea of the project has been the creation of a guide through which any user can understand the main technological fundamentals of a high-power industrial wind turbine, as well as the implementation of an appropriate maintenance plan for all the components that make it up and the elaboration of a risk assessment study of the installation.

With regard to the maintenance plan, it has been concluded that the maintenance strategy for a wind turbine is mainly based on inspection. Preventive maintenance, in which parts are replaced on the basis of a service life calculated by the manufacturer, regulations or previous experience, is not carried out, but components are only replaced or repaired when control systems, instrumentation or inspection results require it. It has been found that there are currently three levels of inspection:

- 1) Level 1. Online inspection
- 2) Level 2. On-site or detailed inspection
- 3) Level 3. Offline inspection

Levels 2 and 3 complement each other, as during detailed interventions, in which a team of two wind turbine maintenance technicians go to the installation, some of the activities included in the maintenance plan, such as vibration analysis, thermography, boroscopic inspections or the analysis of oil intakes, require the transport and installation of measuring equipment, and some tasks even require the prior abandonment of the wind turbine and the start-up of the installation.

In this report, emphasis has been placed on these two levels of inspection. However, the current trend is to extend the first level, the online inspection, to all components of the wind turbine as much as possible. With each passing year within the industry, large companies in the sector are moving towards the implementation of remote monitoring systems for their wind turbines, in the form of thermal imaging cameras inside the nacelle, hub and blades, the use of RTK (Real Time Kinematic) drones for external visual inspections, automated warning systems for the lubrication status of components and/or mobile cameras with remote displacement control for remote borescope

inspections. It is possible that, in the future, the need for on-site or detailed intervention will be completely minimal, which is positive from a cost and risk point of view.

From a risk management point of view, there are numerous ways to minimise the hazards to which maintenance technicians are exposed in the course of their work. Unfortunately, given the severity or possible consequences of some of them, such as the risk of falling from a height, it is not possible to minimise them, let alone eliminate them completely. These are a series of risks that operators and employers are obliged to deal with and the only way to combat them is through the clear transmission of information by the employer, the training of workers, the use of Personal Protective Equipment (PPE), following the protocol transmitted by the manufacturer, complying with the preventive action implemented by the company's prevention service, not violating the wind turbine's collective protection devices and obeying the installation's signs.

In conclusion, a robust understanding of the model of the wind turbine to be treated, following a customised maintenance plan and implementing a complete risk assessment study are the main weapons for companies in the sector to ensure not only the continuous operation and long service life of their wind turbines, but also to guarantee the health and safety of the workers who maintain them.

## 9. Bibliografía

Referencia	Enlace
[1]	“Descubrimos a los precursores de la energía eólica,” siemensgamesa.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.siemensgamesa.com/es-es/descubrir/revista/2019/11/siemens-gamesa-inventors-day#:~:text=Actualmente%20tenemos%20aerogeneradores%20instalados%20por,funcionamiento%20autom%C3%A1tico%20para%20generar%20electricidad.">https://www.siemensgamesa.com/es-es/descubrir/revista/2019/11/siemens-gamesa-inventors-day#:~:text=Actualmente%20tenemos%20aerogeneradores%20instalados%20por,funcionamiento%20autom%C3%A1tico%20para%20generar%20electricidad.</a> (Accedido: 20-dic-2022).
[2]	Erik Möllerström, “An overview of the history of wind turbine development: Part I—The early wind turbines until the 1960s,” <i>ResearchGate</i> , agosto-2022. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Askovs-conical-wind-catcher-In-1897-Poul-la-Cour-added-a-keglevindfang-or-conical_fig5_362712958">https://www.researchgate.net/figure/Askovs-conical-wind-catcher-In-1897-Poul-la-Cour-added-a-keglevindfang-or-conical_fig5_362712958</a> (Accedido: 20-dic-2022).
[3]	Muhammad Kamran, “Planning and modeling of wind energy systems,” <i>ScienceDirect</i> , 2023. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/horizontal-axis-wind-turbine#:~:text=1%20Horizontal%20axis%20wind%20turbines,at%20high%20blade%20tip%20speeds.">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/horizontal-axis-wind-turbine#:~:text=1%20Horizontal%20axis%20wind%20turbines,at%20high%20blade%20tip%20speeds.</a> (Accedido: 22-dic-2022).
[4]	“What is vertical axis wind turbine (VAWT) and how does it work?,” <i>luvsidede.de</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.luvsidede.de/en/what-is-vawt/#:~:text=There%20are%20%20types%20of,model%20and%20the%20Darrieus%20Omodel.">https://www.luvsidede.de/en/what-is-vawt/#:~:text=There%20are%20%20types%20of,model%20and%20the%20Darrieus%20Omodel.</a> (Accedido: 25-dic-2022).
[5]	David Ricardo López Flores, José Antonio Pineda Gómez, “Análisis, simulación, diseño e implementación de un controlador para el Seguimiento del Punto Máximo de Potencia (MPPT) en un Aerogenerador de Baja Potencia (SWT) en aplicaciones aisladas a la red eléctrica,” Tesis doctoral, Cimav, Chihuahua, México, 2012. [En línea]. Disponible en: <a href="https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/508/1/Tesis%20David%20L%C3%B3pez%20Flores%2C%20Jos%C3%A9%20Pineda%20G%C3%B3mez.pdf">https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/508/1/Tesis%20David%20L%C3%B3pez%20Flores%2C%20Jos%C3%A9%20Pineda%20G%C3%B3mez.pdf</a> (Accedido: 25-dic-2022).
[6]	“Modeling Innovations Advance Wind Energy Industry,” <i>spinoff.nasa.gov</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2009/er_3.html">https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2009/er_3.html</a> (Accedido: 26-dic-2022).
[7]	“Riva Calzoni M33 single bladed wind turbine,” <i>aerotrope.com</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.aerotrope.com/what-we-do/wind/wind-turbine-design-case-studies/riva-calzoni.html">https://www.aerotrope.com/what-we-do/wind/wind-turbine-design-case-studies/riva-calzoni.html</a> (Accedido: 26-dic-2022).
[8], [9]	“Eólica sin palas,” <i>vortexbladeless.com</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="https://vortexbladeless.com/es/tecnologia/">https://vortexbladeless.com/es/tecnologia/</a> (Accedido: 26-dic-2022).
[10]	“Cuaderno de aplicaciones técnicas. Plantas eólicas,” ABB, España, Cuaderno de aplicaciones técnicas, n.º 12, Accedido: 01-ene-2023. [En línea]. Disponible en: <a href="https://library.e.abb.com/public/ac764cb1be081128c1257a30003c70d7/Cuaderno%20Tecnico_num%2012_Plantas%20eolicas.pdf">https://library.e.abb.com/public/ac764cb1be081128c1257a30003c70d7/Cuaderno%20Tecnico_num%2012_Plantas%20eolicas.pdf</a>
[11], [12]	Amir R. Nejad, “Wind turbine drivetrains: state-of-the-art technologies and future development trends,” <i>Wind Energy Science</i> , 21-02-2022. [En línea]. Disponible en: <a href="https://wes.copernicus.org/articles/7/387/2022/wes-7-387-2022.html">https://wes.copernicus.org/articles/7/387/2022/wes-7-387-2022.html</a> (Accedido: 03-ene-2023).
[13]	Francisco Mendoza Ponce, “Herramienta de simulación de máquinas asíncronas mediante modelos reducidos,” Sevilla, España, 2010. [En línea]. Disponible en:

	<a href="https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4832/fichero/1.-Introducci%C3%B3n.pdf">https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4832/fichero/1.-Introducci%C3%B3n.pdf</a> (Accedido: 03-ene-2023).
[14], [15], [18]	“Smart grid: Fundamentos técnicos,” repositorio.tec.mx. [En línea]. Disponible en: <a href="https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/632714/13_t2s3_c14_html_context_2.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y#:~:text=Principalmente%2C%20podemos%20encontrar%20dos%20tipos,Vertical%20Axis%20Wind%20Turbine%20VAWT">https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/632714/13_t2s3_c14_html_context_2.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y#:~:text=Principalmente%2C%20podemos%20encontrar%20dos%20tipos,Vertical%20Axis%20Wind%20Turbine%20VAWT</a> . (Accedido: 20-ene-2023).
[16]	“Anillos Rozantes Para Motores Eléctricos,” embobinadostecnicos.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://embobinadostecnicos.com/anillos-rozantes/">https://embobinadostecnicos.com/anillos-rozantes/</a> (Accedido: 20-ene-2023).
[17]	“¿Qué significa DFIG?,” edibon.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.edibon.com/es/blog/como-funciona/que-significa-dfig">https://www.edibon.com/es/blog/como-funciona/que-significa-dfig</a> (Accedido: 20-ene-2023).
[19]	“Wind Turbine Generator Windmill Magnets,” hsmagnets.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.hsmagnets.com/product/wind-turbine-generator-windmill-magnets/">https://www.hsmagnets.com/product/wind-turbine-generator-windmill-magnets/</a> (Accedido: 01-feb-2023).
[20], [21], [22]	“Máquinas eólicas. Cargas, orientación y regulación,” <i>Kimerius Aircraft</i> , [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.kimerius.com/turbinas-e%C3%B3licas/">https://www.kimerius.com/turbinas-e%C3%B3licas/</a> (Accedido: 05-feb-2023).
[23]	“Fears for future of UK onshore wind power despite record growth,” <i>The Guardian</i> , [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/22/fears-for-future-of-uk-onshore-wind-power-despite-record-growth">https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/22/fears-for-future-of-uk-onshore-wind-power-despite-record-growth</a> (Accedido: 05-feb-2023).
[24]	Megan van Wyngaardt, “Solid foundations for wind turbines,” <i>Engineering News</i> , 16-05-2014. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.engineeringnews.co.za/article/solid-foundations-for-wind-turbines-2014-05-16">https://www.engineeringnews.co.za/article/solid-foundations-for-wind-turbines-2014-05-16</a> (Accedido: 05-feb-2023).
[25]	Evans Amponsah, Zhenyu Wang, Selase Kwame Mantey, “Bending-bearing behaviour of embedded steel ring-foundation connection of onshore wind turbines,” <i>ScienceDirect</i> , 05-08-2021. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235201242100669X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235201242100669X</a> (Accedido: 05-feb-2023).
[26]	Víctor Yepes Piqueras, “Cimentaciones prefabricadas en aerogeneradores,” <i>poliBlogs</i> , 27-04-2015. [En línea]. Disponible en: <a href="https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/27/cimentaciones-prefabricadas-en-aerogeneradores/">https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/27/cimentaciones-prefabricadas-en-aerogeneradores/</a> (Accedido: 10-feb-2023).
[27]	rol rom. <i>Erecting a wind turbine tower, éolienne</i> . (07 de mayo de 2017). Accedido: 10-feb-2023. [Video en línea]. Disponible en: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=I8Yv6g7IcKI">https://www.youtube.com/watch?v=I8Yv6g7IcKI</a>
[28]	“Aerogenerador Vestas V52 850kW torre Vestas 45m celosía,” ammcapital.es. [En línea]. Disponible en: <a href="https://ammcapital.es/Aerogenerador-Vestas-V52-850kW-torre-45m-celosia">https://ammcapital.es/Aerogenerador-Vestas-V52-850kW-torre-45m-celosia</a> (Accedido: 10-feb-2023).
[29]	Ignacio Mártil, “En el interior de un generador eólico,” <i>Material Eléctrico</i> , 18-10-2020. [En línea]. Disponible en: <a href="https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2020/10/18/interior-de-un-generador-eolico/">https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2020/10/18/interior-de-un-generador-eolico/</a> (Accedido: 13-feb-2023).
[30]	Víctor Orejuela Luna, “Modelo para el análisis técnico-económico de la factibilidad de microcentrales eólicas para generación distribuida,” <i>ResearchGate</i> , diciembre-2014. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.researchgate.net/publication/281903643_Modelo_para_el_analisis_tecnico-co-">https://www.researchgate.net/publication/281903643_Modelo_para_el_analisis_tecnico-co-</a>

	<a href="#">economico de la factibilidad de microcentrales eolicas para generacion distribuida</a> (Accedido: 13-feb-2023).
[31]	“Interruptor de límite para las transmisiones de Yaw,” b-command.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.b-command.com/es/aplicaciones/la-energia-eolica/">https://www.b-command.com/es/aplicaciones/la-energia-eolica/</a> (Accedido: 15-feb-2023).
[32], [33], [34], [35]	Iberdrola España, “Aerogeneradores. Qué es un aerogenerador y cómo funciona,” Iberdrola.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/palas-aerogeneradores">https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/palas-aerogeneradores</a> (Accedido: 15-feb-2023).
[36]	Carlos, <i>Xarlie</i> , “Sustentación, o por qué vuelan los aviones,” <i>Blogaero</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="https://blogaero.com/sustentacion-por-que-vuelan-los-aviones/">https://blogaero.com/sustentacion-por-que-vuelan-los-aviones/</a> (Accedido: 20-feb-2023).
[37]	Miguel Ángel Muñoz Navarro, “Principios básicos. Aerodinámica,” <i>Manual de vuelo</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="https://manualvuelo.es/1pbav/12_aerod.html">https://manualvuelo.es/1pbav/12_aerod.html</a> (Accedido: 20-feb-2023).
[38]	Repowering Solutions, “List of used & unused wind turbines for sale immediately,” repoweringsolutions.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.repoweringsolutions.com/download/listado_aerogeneradores_en_venta.pdf">https://www.repoweringsolutions.com/download/listado_aerogeneradores_en_venta.pdf</a> (Accedido: 20-feb-2023).
	Neoenergía, “La historia de la energía eólica,” 16-07-2021. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.neoenergia.com/es-es/sala-de-comunicacion/noticias/Paginas/historia-de-energia-eolica.aspx">https://www.neoenergia.com/es-es/sala-de-comunicacion/noticias/Paginas/historia-de-energia-eolica.aspx</a> (Accedido: 20-dic-2022).
	Enel Green Power, “La energía eólica,” enelgreenpower.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica">https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica</a> (Accedido: 20-dic-2022).
	Repsol, “¿Qué es la energía eólica?,” repsol.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-eolica/index.cshtml">https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-eolica/index.cshtml</a> (Accedido: 20-dic-2022).
	Iberdrola, “¿Qué es la energía eólica, cómo se transforma en electricidad y cuáles son sus ventajas?,” iberdrola.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica">https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica</a> (Accedido: 20-dic-2022).
	Iberdrola, “Energía eólica terrestre,” iberdrola.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-eolica-terrestre">https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-eolica-terrestre</a> (Accedido: 20-dic-2022).
	Ignacio Mártel de la Plaza, “Historia de la energía eólica: del origen a la II Guerra Mundial,” <i>BBVA OpenMind</i> , 11-03-2021. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-energia-eolica-origen-ii-guerra-mundial/">https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-energia-eolica-origen-ii-guerra-mundial/</a> (Accedido: 25-dic-2022).
	P. Cobreiro Rodríguez, N. J. Simón, “Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales,” 2014. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.insst.es/documents/94886/566858/ntp-1022w.pdf/6cf91f13-94ef-46cd-b58c-fc27b4d52f01?version=1.0&amp;t=1614697878604">https://www.insst.es/documents/94886/566858/ntp-1022w.pdf/6cf91f13-94ef-46cd-b58c-fc27b4d52f01?version=1.0&amp;t=1614697878604</a> (Accedido: 01-mar-2023).
	P. Cobreiro Rodríguez, N. J. Simón, “Aerogeneradores (II): Riesgos laborales en las operaciones de mantenimiento,” 2014. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.insst.es/documents/94886/329170/ntp-1023w.pdf/84b6949c-a338-4abb-a7af-03d9f237d492">https://www.insst.es/documents/94886/329170/ntp-1023w.pdf/84b6949c-a338-4abb-a7af-03d9f237d492</a> (Accedido: 01-mar-2023).
	P. Cobreiro Rodríguez, N. J. Simón, “Aerogeneradores (III): Medidas de prevención y protección durante el mantenimiento,” 2014. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.insst.es/documents/94886/329170/ntp-1024w.pdf/1f7d6152-683a-4642-a773-b61fc401ed73">https://www.insst.es/documents/94886/329170/ntp-1024w.pdf/1f7d6152-683a-4642-a773-b61fc401ed73</a> (Accedido: 01-mar-2023).

	LEA Global, "Riesgos en aerogeneradores," 2017. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2017/08/05-17-riesgos-en-aerogeneradores2.pdf">https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2017/08/05-17-riesgos-en-aerogeneradores2.pdf</a> (Accedido: 05-mar-2023).
	Técnicos del Área de Prevención de Riesgos Laborales de Mutua Universal, "Prevención de riesgos laborales para PYME. Evaluación de Riesgos," mutuauniversal.net. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.mutuauniversal.net/flippingbooks/01/data/downloads/16_eval_riesgos.pdf">https://www.mutuauniversal.net/flippingbooks/01/data/downloads/16_eval_riesgos.pdf</a> (Accedido: 10-mar-2023).
	Asociación Empresarial Eólica (AEE), "Best practice guide to work in confined spaces. Blades" aeeolica.org. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.aeeolica.org/uploads/documents/8033-best-practice-guide-to-work-in-confined-spaces-blades.pdf">https://www.aeeolica.org/uploads/documents/8033-best-practice-guide-to-work-in-confined-spaces-blades.pdf</a> (Accedido: 10-mar-2023).
	Asociación Empresarial Eólica, "Curso de técnico de mantenimiento de parques eólicos," AEE, España, Curso técnico, X ed., 2022, Accedido: 10-mar-2023. [En línea]. Disponible en: <a href="https://aeeolica.org/wp-content/uploads/2022/02/AEE-Curso-de-Mantenimiento-de-Parques-Eolicos-2022.pdf">https://aeeolica.org/wp-content/uploads/2022/02/AEE-Curso-de-Mantenimiento-de-Parques-Eolicos-2022.pdf</a>
	Acciona Energía, "Arco eléctrico en armario ground de G47," acciona.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://mediacdn.acciona.com/media/cpjnsygz/arco-electrico-en-armario-ground-de-g47.pdf">https://mediacdn.acciona.com/media/cpjnsygz/arco-electrico-en-armario-ground-de-g47.pdf</a> (Accedido: 12-mar-2023).
	Eólicas de Fuerteventura, "Pliego de prescripciones técnicas para la prestación de los servicios de operación y mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo del parque eólico de Cañada de la Barca," contrataciondelestado.es. [En línea]. Disponible en: <a href="https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/0e8c9286-2097-48d9-a586-9509e69f8084/DOC20190320104112PPT.pdf?MOD=AJPERES">https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/0e8c9286-2097-48d9-a586-9509e69f8084/DOC20190320104112PPT.pdf?MOD=AJPERES</a> (Accedido: 15-mar-2023).
[39]	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), "Evaluación de Riesgos Laborales," insst.es. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.insst.es/documents/94886/96076/Evaluacion_riesgos.pdf/1371c8cb-7321-48c0-880b-611f6f380c1d">https://www.insst.es/documents/94886/96076/Evaluacion_riesgos.pdf/1371c8cb-7321-48c0-880b-611f6f380c1d</a> (Accedido: 15-mar-2023).
	Kyungil Kong, Kirsten Dyer, Christopher Payne, Ian Hamerton, Paul M. Weaver, "Progress and Trends in Damage Detection Methods, Maintenance, and Data-driven Monitoring of Wind Turbine Blades – A Review," <i>ScienceDirect</i> , marzo-2023. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755008422000606">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755008422000606</a> (Accedido: 31-mar-2023).
	O.N. Aneziris, I.A. Papazoglou, A. Psinias, "Occupational risk for an onshore wind farm," <i>ScienceDirect</i> , octubre-2016. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516000655">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516000655</a> (Accedido: 31-mar-2023).
	Avanti Wind Systems, "AVANTI Personal Protective Equipment (PPE)," avanti-online.com. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.avanti-online.com/admin/public/download.aspx?file=/Files/Files/PPE/PPE-datasheet.pdf">https://www.avanti-online.com/admin/public/download.aspx?file=/Files/Files/PPE/PPE-datasheet.pdf</a> (Accedido: 31-mar-2023).
	Secoes, "Catálogo completo con toda la información y prendas," secoes.es. [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.secoes.es/epis-para-energia-eolica/#catalogo-epis-eolica">https://www.secoes.es/epis-para-energia-eolica/#catalogo-epis-eolica</a> (Accedido: 01-abr-2023).
	<i>Ley del Sector Eléctrico</i> , Ley 24/2013, Boletín Oficial del Estado, 26 de diciembre de 2013.
	<i>Reglamento que regula la instalación y explotación de los Parques Eólicos en Canarias</i> , Decreto 6/2015, Boletín Oficial de Canarias, 30 de enero de 2015.

	<i>Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo</i> , Real Decreto 1215/1997, Boletín Oficial del Estado, 18 de julio de 1997.
	<i>Normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas</i> , Real Decreto 1644/2008, Boletín Oficial del Estado, 10 de octubre de 2008.
	<i>Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico</i> , Real Decreto 614/2001, Boletín Oficial del Estado, 8 de junio de 2001.
	<i>Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e ITC</i> , Boletín Oficial del Estado (BOE), edición actualizada a 23 de marzo de 2023.
	<i>Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23</i> , Real Decreto 337/2014, Boletín Oficial del Estado, 9 de mayo de 2014.
	<i>Aerogeneradores - Medidas de protección - Requisitos para diseño, operación y mantenimiento</i> , UNE-EN 50308:2005, 2005.
	<i>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</i> , UNE-EN 547-1:1997+A1:2009, 2009.
	<i>Protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo</i> , Real Decreto 374/2001, 6 de abril de 2001.
	<i>Protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo</i> , Real Decreto 681/2003, 12 de junio de 2003.
	<i>Prevención de Riesgos Laborales</i> , Ley 31/1995, 8 de noviembre de 1995.
	<i>Aprobación del Reglamento de los Servicios de Prevención</i> , Real Decreto 39/1997, 17 de enero de 1997.
	<i>Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo</i> , UNE-EN ISO 12100:2012, 2012.
[40]	ENERGIAS RENOVABLES. <i>MANTENIMIENTO DE AEROGENERADORES</i> . (8 de abril de 2022). Accedido: 15-may-2023. [Video en línea]. Disponible en: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=8nNm_fxz6bg">https://www.youtube.com/watch?v=8nNm_fxz6bg</a>
	ENERGIAS RENOVABLES. <i>AEROGENERADOR: PLAN DE MANTENIMIENTO COMPLETO Y DETALLADO</i> . (11 de junio de 2018). Accedido: 15-may-2023. [Video en línea]. Disponible en: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=ejkKa-tYaq0">https://www.youtube.com/watch?v=ejkKa-tYaq0</a>
	ENERGIAS RENOVABLES. <i>PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN AEROGENERADOR</i> . (9 de junio de 2022). Accedido: 15-may-2023. [Video en línea]. Disponible en: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=P0W5zk4Qc9o">https://www.youtube.com/watch?v=P0W5zk4Qc9o</a>
	ENERGIAS RENOVABLES. <i>Mantenimiento por normativa legal de aerogeneradores</i> . (9 de julio de 2018). Accedido: 15-may-2023. [Video en línea]. Disponible en: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=E-JicMeS8LM">https://www.youtube.com/watch?v=E-JicMeS8LM</a>

## 10. Anexos

### 10.1. Planilla de mantenimiento trimestral/semestral del aerogenerador

Zona del aerogenerador	Actividades preventivas de las inspecciones	Tipo	Resultado	Frecuencia	Tipo de operario necesario	Tiempo (minutos/hombre)	Operarios mínimos	Duración (minutos)	Observaciones
Exterior (estructura externa)	Verificar que el funcionamiento del aerogenerador en marcha es aparentemente correcto	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar que el aerogenerador, en funcionamiento normal, no presenta ruidos o vibraciones anormales	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar estado de la zona exterior del aerogenerador: ausencia de peligros o elementos extraños en los alrededores	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar el estado de los tornillos de la base	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Comprobar la protección catódica y los ánodos de sacrificio de los tornillos de la base (si procede)	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Comprobar el estado de la escalera de acceso al aerogenerador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Comprobar el estado de la puerta de acceso al aerogenerador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Realizar inspección visual del estado de la cimentación del aerogenerador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Comprobar el buen estado exterior de la góndola del aerogenerador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	2	4	
	Realizar inspección óptica rápida de las palas y verificar que no tienen defectos aparentes	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	2	10	
Base (interior)	Verificar las maniobras de arranque y parada	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar buen estado del ascensor	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar el correcto funcionamiento del ascensor (protocolo de mantenimiento recomendado por el fabricante*)	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	14	1	14	
	Verificar buen estado de celdas de media tensión	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar buen estado de armario de control	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar buen estado del SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida) de la baliza	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Comprobar el correcto funcionamiento de puertas y accesos	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Comprobar el cierre estanco de puertas y accesos	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Comprobar el correcto funcionamiento de la cerradura	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	1	1	1	
	Verificar la correcta iluminación en el interior de la base y a lo largo de la torre	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
Góndola (interior)	Verificar que el interior de la góndola no presenta elementos externos sueltos, rotos o desmontados	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar que en el interior de la góndola no se detectan olores anormales	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar el correcto funcionamiento de todas las alarmas visuales y sonoras del aerogenerador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar el estado de limpieza del interior de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar la iluminación del interior de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Comprobar la apertura y el cierre de la puerta lateral de evacuación	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar el funcionamiento del puente grúa simulando la elevación y el descenso de una carga	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar el funcionamiento del sistema de salvamento fijo	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
	Comprobar el estado del sistema de bloqueo del rotor	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Comprobar el funcionamiento del sistema de bloqueo del rotor	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
Verificar el correcto engrase del sistema de bloqueo del rotor	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2		
Buje (interior)	Verificar las marcas de apriete de los pernos de sujeción de las palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar vibraciones en el eje principal/eje lento	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	15	1	15	
	Realizar toma de muestra de aceite del sistema hidráulico de orientación de las palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Comprobar niveles de aceite en la central del sistema de orientación de palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Comprobar los filtros en la central hidráulica del sistema de orientación de palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar inspección visual de los cilindros del sistema de orientación de palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar que los rodamientos del sistema de orientación funcionan de forma aparentemente correcta	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar el correcto engrase del sistema de orientación de palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar correcto funcionamiento del sistema de orientación de palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar ausencia de fugas de aceite en el sistema hidráulico de orientación de palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	

<b>Multiplicadora</b>	Realizar inspección visual de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar inspección visual de la tornillería de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar ausencia de fugas de fluidos en la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar ausencia de calentamientos anormales en la multiplicadora	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Realizar inspección de pastillas de freno de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar el correcto nivel de aceite en la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	1	1	1	
	Verificar ausencia de restos metálicos en el detector magnético del aceite	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	1	1	1	
	Verificar presiones del aceite en la multiplicadora	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Tomar muestra del aceite de la multiplicadora para su análisis	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	1	1	1	
	Verificar ausencia de espumas en el aceite de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	1	1	1	
	Verificar el estado de los filtros de aceite	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar correcto funcionamiento del filtro riñón de aceite de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar el estado del filtro riñón de aceite de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar estado de los retenes de aceite	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar estado del filtro desecante	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
Realizar análisis de vibraciones de la multiplicadora	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	15	1	15		
Verificar funcionamiento del motor de la bomba eléctrica de engrase	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2		
<b>Generador</b>	Realizar inspección visual del generador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Comprobar temperaturas de devanados en el generador	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar lubricación de los rodamientos del generador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar apriete de los pernos de sujeción del generador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar análisis de vibraciones en el generador	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
<b>Transformador</b>	Realizar inspección visual del transformador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	3	1	3	
<b>Sistema de orientación de la góndola</b>	Comprobar el funcionamiento del sistema de orientación de la góndola (realizando un giro completo)	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	30	1	30	
	Realizar una inspección visual de los motorreductores del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Medir el consumo de los motores del sistema de orientación de la góndola	Medición	Lectura de medidas	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar una inspección visual del sistema de frenado del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar el correcto engrase del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
<b>Instrumentos y Control (I&amp;C)</b>	Verificar el correcto estado de toda la instrumentación: sensores de temperatura y posición, finales de carrera, transmisores y bus de datos)	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	2	10	
	Verificar la transmisión de datos de la instrumentación al sistema de control	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar las tarjetas del PLC	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar el armario de control e instrumentación	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar el correcto funcionamiento de la estación meteorológica del aerogenerador	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Técnico especializado	5	1	5	
<b>Mantenimiento legal*</b>	Verificar el correcto funcionamiento de la baliza de señalización	Comprobación	Positivo/Negativo	Trimestral/Semestral	Mantenimiento legal	5	1	5	

## 10.2. Planilla de mantenimiento anual/trienal del aerogenerador

Zona del aerogenerador	Actividades preventivas de las inspecciones	Tipo	Resultado	Frecuencia	Tipo de operario necesario	Tiempo (minutos/hombre)	Operarios mínimos	Duración (minutos)	Observaciones
Exterior (estructura externa)	Realizar inspección óptica detallada de las palas (modelo tripala)	Inspección	Positivo/Negativo	Anual	Empresa especialista	5	1	5	
	Realizar inspección óptica detallada del exterior del buje	Inspección	Positivo/Negativo	Anual	Empresa especialista	2,5	1	2,5	
	Búsqueda de grietas, malformaciones o defectos en la torre	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	2	4	
	Realizar inspección visual del estado de la pintura exterior de la torre	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	2	4	
	Verificar ausencia de marcas de caída de rayos en las palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	1	2	2	
	Verificar estado de limpieza de las palas	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	3	1	3	
	Realizar termografía superficial de las palas (si es posible mediante inspección online)	Medición	Lectura de medidas	Anual	Técnico especializado	10	2	20	
Base (interior)	Comprobación sensorial del estado de las soldaduras a lo largo de la torre y la ausencia de grietas	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	2	4	
	Búsqueda de síntomas de corrosión en la torre	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	2	4	
	Búsqueda de síntomas de corrosión en las bridas de unión entre los tramos de la torre	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	2	4	
	Verificar el buen estado de la toma de tierra	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Medir la resistencia de la puesta a tierra (habitualmente menos de 20 Ω)	Medición	Lectura de medidas	Anual	Técnico especializado	15	1	15	
	Verificar el buen estado de la cartelería y placas identificativas	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	15	1	15	
Góndola (interior)	Verificar el buen estado de las bandejas de cables	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar que los equipos de la góndola tienen todas sus etiquetas identificativas, placas de características y señalizaciones de peligro	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	1	2	
Buje (interior)	Verificar el estado de la bomba mecánica de lubricación	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar inspección visual interior de la zona del buje	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Comprobar buen estado superficial del eje principal	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	1	2	
	Verificar marcas de apriete del eje principal	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	2	1	2	
Multiplicadora	Verificar apriete de tornillería de las tapas de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	15	1	15	
	Realizar boroscopia de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	7,5	2	15	
	Realizar inspección del disco de freno de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Revisar pastillas de freno de la multiplicadora (inspección de las capas de ferodo)	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar prueba de funcionamiento del freno de la multiplicadora	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
Generador	Verificar correcto apriete de conexiones en la caja de bornas del generador	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Medir la resistencia del aislamiento en el cableado del generador (cables de conexión, devanados del estator y el rotor)	Medición	Lectura de medidas	Anual	Técnico especializado	15	1	15	
	Verificar cuadros eléctricos asociados al generador	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	10	1	10	
	Realizar inspección de escobillas y anillos rozantes del generador	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar puesta a tierra del generador	Medición	Lectura de medidas	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
Transformador	Medir resistencia de aislamiento de fases del transformador	Medición	Lectura de medidas	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Realizar limpieza del transformador	Procedimiento	Realizado/No realizado	Anual	Técnico especializado	7,5	2	15	
	Verificar la toma de tierra del transformador	Medición	Lectura de medidas	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar el sistema de refrigeración del transformador	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	3	1	3	
	Verificar el correcto estado de los armarios eléctricos del transformador	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Verificar el regulador de tomas del transformador (si estuviese instalado)	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	3	1	3	
	Revisar la bancada/andajes del transformador	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
Sistema de orientación de la góndola	Verificar el apriete de los pernos de sujeción de los motorreductores del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar el apriete de conexiones de los motorreductores del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
	Comprobar el estado de las pastillas de freno del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	30	1	30	
	Realizar una revisión completa del sistema de frenado del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	2	10	
	Revisión de los dientes de las coronas (motorreductores y corona principal) del sistema de orientación de la góndola	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	7,5	2	15	
Instrumentos y Control (I&C)	Verificar el estado del cableado, la sujeción y conexión de los instrumentos	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	3	2	6	
	Verificar que desde el sistema de control se pueden realizar correctamente todas las maniobras	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	10	1	10	
	Verificar el correcto funcionamiento de todas las alarmas del sistema de control	Comprobación	Positivo/Negativo	Anual	Técnico especializado	5	1	5	
Mantenimiento legal*	Inspección y certificación del sistema de balizamiento del aerogenerador	Inspección	Superada/No superada	Anual	Mantenimiento legal	30	1	30	
	Inspección y certificación del sistema de alta tensión	Inspección	Superada/No superada	Trienal	Mantenimiento legal	60	1	60	
	Inspección y certificación del sistema de media tensión	Inspección	Superada/No superada	Trienal	Mantenimiento legal	60	1	60	

### 10.3. Planilla simplificada del mantenimiento legal

Marco general	Sistema sometido a mantenimiento legal	Actividades relacionadas con el mantenimiento legal		Frecuencia	Responsable	
Mantenimiento legal	Sistema de balizamiento	Realizar una inspección sensorial del sistema de balizamiento		Trimestral/Semestral	Empresa mantenedora	
		Verificar el correcto funcionamiento del sistema de balizamiento		Trimestral/Semestral	Empresa mantenedora	
		Verificar el Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)		Trimestral/Semestral	Empresa mantenedora	
		Verificación del estado y emisión del certificado necesario		Anual	Organismo de Control Autorizado (OCA)	
	Sistema de alta tensión	Subestación	Realizar una inspección sensorial de la subestación		Anual	Empresa mantenedora
			Verificación del correcto funcionamiento de la subestación		Anual	Empresa mantenedora
			Comprobación del estado de los relés de protección		Anual	Empresa mantenedora
			Limpieza exhaustiva de la subestación		Anual	Empresa mantenedora
			Verificación del estado y emisión del certificado necesario		Trienal	Organismo de Control Autorizado (OCA)
	Sistema de media tensión	Líneas de distribución	Inspección visual de las botellas de conexión (extremos)		Anual	Empresa mantenedora
			Medición del aislamiento de las líneas de distribución		Anual	Empresa mantenedora
		Celdas de maniobra	Realizar una inspección sensorial de las celdas de maniobra		Anual	Empresa mantenedora
			Verificar el correcto funcionamiento de las celdas de maniobra		Anual	Empresa mantenedora
			Medición del aislamiento de las celdas de maniobra		Anual	Empresa mantenedora
			Verificar la puesta a tierra de las celdas de maniobra		Anual	Empresa mantenedora
			Medición de las corrientes de paso y contacto		Anual	Empresa mantenedora
			Verificación del estado y emisión del certificado necesario		Trienal	Organismo de Control Autorizado (OCA)
Sistema de baja tensión	Revisión de la instalación de puesta a tierra		Anual	Electricista autorizado		
	Revisión de los cuadros eléctricos		Quinquenal	Electricista autorizado		

#### 10.4. Resumen de actividades del mantenimiento del ascensor

Objetivo del mantenimiento	Actividades del plan de mantenimiento	Frecuencia	Responsable
<b>Ascensor</b>	Comprobar el estado mecánico de la puerta	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar que la puerta una vez ha sido cerrada no se puede volver a abrir	Trimestral	Empresa mantenedora
	Verificar el correcto estado de los dispositivos de enclavamiento	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el funcionamiento de los medios de suspensión	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el funcionamiento de los medios de tracción	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el funcionamiento del sistema de frenado mecánico	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el estado de los núcleos del sistema de frenado mecánico	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el estado de los ejes y articulaciones del sistema de frenado mecánico	Trimestral	Empresa mantenedora
	Verificar ausencia de corrosión en el sistema de frenado mecánico	Trimestral	Empresa mantenedora
	Verificar ausencia de suciedad en el sistema de frenado mecánico	Trimestral	Empresa mantenedora
	Verificar el correcto funcionamiento del limitador de velocidad	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el funcionamiento del paracaídas, con la cabina vacía y a velocidad reducida	Trimestral	Empresa mantenedora
	Comprobar el funcionamiento de los amortiguadores, con la cabina vacía y a velocidad reducida	Trimestral	Empresa mantenedora
Verificar el correcto funcionamiento del sistema de petición de socorro	Trimestral	Empresa mantenedora	