

# RECOMENDACIONES PARA EL DIAGNÓSTICO Y LA EVALUACIÓN PERIÓDICA DE LOS PARQUES EÓLICOS.

**En la elaboración esta guía han participado los socios de AEMER y su elaboración ha sido coordinada por:**

**D. Cristobal Couret Storich**

**D. Francisco José Polo Sánchez**  
**Responsable I+D+i Staff Tecnológico**  
**Ingeteam Power Technology S.A.**

**Noviembre de 2017**

## Contenido

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Objetivo del documento .....                                                                 | 6  |
| 2. Principales tipos de inspecciones.....                                                       | 7  |
| 3. Inspección de evaluación para estrategias de Mantenimiento según estado.....                 | 7  |
| 3.1. Inspecciones de palas.....                                                                 | 7  |
| 1.1.1. Implicaciones y Responsabilidades.....                                                   | 10 |
| 1.1.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar.....                             | 10 |
| 1.1.3. Alcance de la inspección.....                                                            | 11 |
| 1.1.4. Técnicas de inspección. ventajas e inconvenientes.....                                   | 13 |
| 1.1.5. Requisitos previos a la inspección.....                                                  | 14 |
| 1.1.6. Informe de inspección.....                                                               | 14 |
| 1.1.7. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector 17        |    |
| 4. Inspecciones de seguimiento contractual.....                                                 | 18 |
| 4.1. Implicaciones y Responsabilidades .....                                                    | 19 |
| 4.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar.....                               | 20 |
| 4.3. Alcance de la inspección .....                                                             | 20 |
| 4.4. Requisitos previos a la inspección.....                                                    | 23 |
| 4.5. Informe de Inspección.....                                                                 | 23 |
| 4.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector 25          |    |
| 5. Inspecciones de extensión de vida.....                                                       | 25 |
| 5.1. Implicaciones y Responsabilidades.....                                                     | 27 |
| 5.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar.....                               | 28 |
| 5.3. Alcance de la inspección .....                                                             | 28 |
| 5.4. Requisitos previos a la inspección.....                                                    | 33 |
| 5.5. Informe de Inspección.....                                                                 | 33 |
| 5.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector 35          |    |
| 6. Inspección del estado general de los aerogeneradores.....                                    | 35 |
| 6.1. Implicaciones y Responsabilidades .....                                                    | 36 |
| 6.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar.....                               | 36 |
| 6.3. Alcance de la inspección .....                                                             | 37 |
| 6.4. Requisitos previos a la inspección.....                                                    | 37 |
| 6.5. Informe de Inspección.....                                                                 | 37 |
| 6.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector 39          |    |
| 7. Otras inspecciones.....                                                                      | 39 |
| 7.1. Iluminación interior. Inspecciones del sistema en modo operación y en modo emergencia..... | 39 |

|            |                                                                                      |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1.1      | Objetivos .....                                                                      | 39 |
| 7.1.2      | Referencias y consideraciones generales:.....                                        | 40 |
| 7.1.3      | Alcance de la inspección. ....                                                       | 40 |
| 7.1.4      | Procedimiento de mantenimiento e inspecciones .....                                  | 41 |
|            | Generalidades .....                                                                  | 41 |
|            | Periodicidad de la inspección automática.....                                        | 41 |
|            | Periodicidad de la inspección no automática .....                                    | 41 |
| 7.1.5      | Registros e informes de los sistemas de alumbrado de seguridad .....                 | 44 |
|            | Generalidades .....                                                                  | 44 |
|            | Registro del sistema .....                                                           | 44 |
|            | Libro de registro (informes) .....                                                   | 44 |
| 7.1.6      | Requisitos para la inspección .....                                                  | 46 |
| 7.1.7      | Informe de inspección.....                                                           | 47 |
| 7.2.       | Subestación y Líneas de Alta Tensión. ....                                           | 48 |
| 7.2.1.     | Implicaciones y responsabilidades. ....                                              | 49 |
| 7.2.2.     | Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar.....                         | 49 |
| 7.2.3.     | Alcance de la inspección. ....                                                       | 50 |
| 7.2.4.     | Requisitos previos a la inspección.....                                              | 51 |
| 7.2.5.     | Informe de inspección.....                                                           | 51 |
| 7.2.6.     | Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector<br>52 |    |
| 7.3.       | Convertidor .....                                                                    | 53 |
| 7.3.1.     | Componentes internos del convertidor. ....                                           | 53 |
| 7.3.1.1.   | Cables de potencia. ....                                                             | 53 |
| 7.3.1.2.   | Conexiones en pletinas de potencia. ....                                             | 54 |
| 7.3.2.     | Capacidades. ....                                                                    | 55 |
| 7.3.2.1.   | Condensadores bus de continua. ....                                                  | 55 |
| 7.3.2.2.   | . Condensadores filtro armónicos. ....                                               | 55 |
| 7.3.2.3.   | Inductancias. ....                                                                   | 56 |
| 7.3.2.4.   | Protecciones de sobre tensión. ....                                                  | 56 |
| 7.3.2.5.   | Descargador condensadores. ....                                                      | 57 |
| 7.3.2.6.   | Crowbar.....                                                                         | 57 |
| 7.3.2.7.   | Sistema de control.....                                                              | 58 |
| 7.3.2.8.   | Sistema auxiliar. ....                                                               | 59 |
| 7.3.2.9.   | Sistema refrigeración. ....                                                          | 60 |
| 7.3.2.9.1. | Refrigeración por aire.....                                                          | 60 |

|             |                                  |    |
|-------------|----------------------------------|----|
| 7.3.2.9.2.  | Refrigeración líquida. ....      | 60 |
| 7.3.2.10.   | Componentes externos. ....       | 62 |
| 7.3.2.10.1. | Maniobra Contactor estator. .... | 62 |
| 7.3.2.10.2. | Interruptor automático. ....     | 63 |

## 1. Objetivo del documento

El presente documento tiene como objetivo establecer una serie de recomendaciones de supervisión de los parques a lo largo de la vida de los mismos y que aborde tanto el alcance como el procedimiento a seguir. El objeto final es maximizar la vida útil y las prestaciones de las instalaciones, al mínimo coste posible y manteniendo en todo momento las condiciones necesarias para garantizar la seguridad en los parques eólicos.



Se busca establecer un marco general y transparente que sea referencia para el conjunto del sector. Debe, por lo tanto, combinar dos aspectos fundamentales: sencillez y utilidad. Adicionalmente debe ser un documento vivo que se nutra y actualice con las experiencias y se adapte a la situación contractual, tecnología y estado de cada parque.

El objetivo último es establecer criterios de supervisión/diagnóstico uniformes, el perfil de los profesionales para realizarlos y el contenido de los informes.

El marco general que aquí se propone debe ser dinámico y transparente y debe servir a las partes involucradas: propietario del parque, tecnólogo, ISPs<sup>1</sup>, entidades financieras y a las Compañías de Seguros.

El presente documento ha sido elaborado por AEMER a través del Grupo de Trabajo específico con la participación de representantes de sus asociados para lo cual se han mantenido reuniones e intercambios de información periódicos

---

<sup>1</sup> Dada la importancia para el Sector Eólico de la actividad de las Empresas Independientes de Mantenimiento, se hace un énfasis especial en consolidar su posición tecnológica (información, materiales, repuestos, seguridad y salud) y económica (nuevos modos más flexibles, estacionalización).

## 2. Principales tipos de inspecciones.

El objeto último de las inspecciones es la evaluación del estado de los aerogeneradores y la adecuación de las tareas de mantenimiento realizadas.

Dependiendo de cuándo se realizan y el resultado que se busca obtener, podemos clasificar las inspecciones en cuatro tipos.

- De evaluación del estado general para estrategias de Mantenimiento según estado, donde se busca evaluar el estado de los componentes para determinar las acciones correctoras a llevar a cabo y el momento en que deben realizarse.
- De seguimiento contractual: identificación de fallos para su posible reclamación en garantía.
- De extensión de vida: se busca comprobar que el estado de las máquinas es el adecuado para la operación segura hasta la próxima fecha de inspección.
- De estado general de los aerogeneradores: el interés es comprobar que el mantenedor hace su trabajo de manera eficiente y con la calidad adecuada.

## 3. Inspección de evaluación para estrategias de Mantenimiento según estado.

Se determinará el estado del equipo o componente determinando si requiere intervención correctiva o no, el alcance de la reparación, el periodo en el que debe realizarse o la fecha de la próxima inspección si no se requiere de una actuación correctiva.

Esta estrategia de mantenimiento se da usualmente en grandes componentes y especialmente **en el mantenimiento de palas donde no se realiza un mantenimiento preventivo periódico.**

En este documento no se analizan las políticas de predictivo óptimas para esta estrategia de mantenimiento en el tren de potencia ya que queda fuera de su alcance. No obstante, cada propietario deberá de diseñar con el apoyo del mantenedor el alcance de predictivo óptimo para su flota. El mantenimiento predictivo incluye análisis de aceite, medidas de vibraciones, inspecciones videoscópicas o análisis estadístico de las variables operativas.

Por tanto nos centraremos en las inspecciones de palas.

### 3.1. Inspecciones de palas.

Las palas son un elemento aerodinámico que sufre erosiones por el ambiente. El proceso de fabricación es en muchos casos muy manual dándose la posibilidad de

darse deficiencias de calidad que evolucionarán en la vida de la pala hasta provocar grietas o despegues. Los objetivos de la inspección periódica en palas y rotor son:

1. Evaluar el estado general.
2. Detectar posibles daños y delimitar su alcance.
3. Evidenciar documentalmente dichos defectos.
4. Establecer las acciones correctoras oportunas ante esas evidencias.

Las inspecciones periódicas deben garantizar una correcta evaluación del estado de los activos analizados.

Es importante que los problemas que puedan aparecer en las palas se detecten en un estado incipiente, donde los daños sean cosméticos y no estructurales. Una vez que el problema evolucione a estructural se incurrirá en un riesgo de rotura que, en ocasiones, recomienden la parada del aerogenerador hasta la reparación del defecto, cuyo coste será elevado.

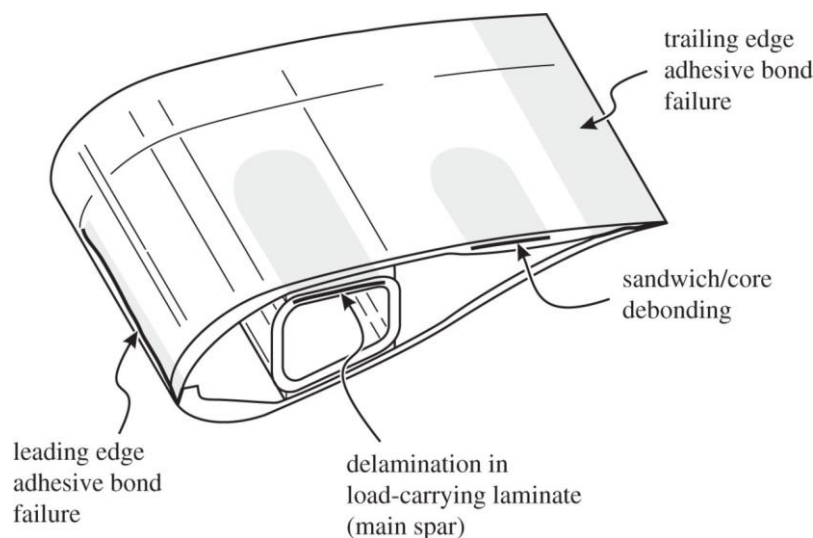


Figura 1: Localización de los daños en las palas (Fuente: INGETEAM/SKILLWIND)

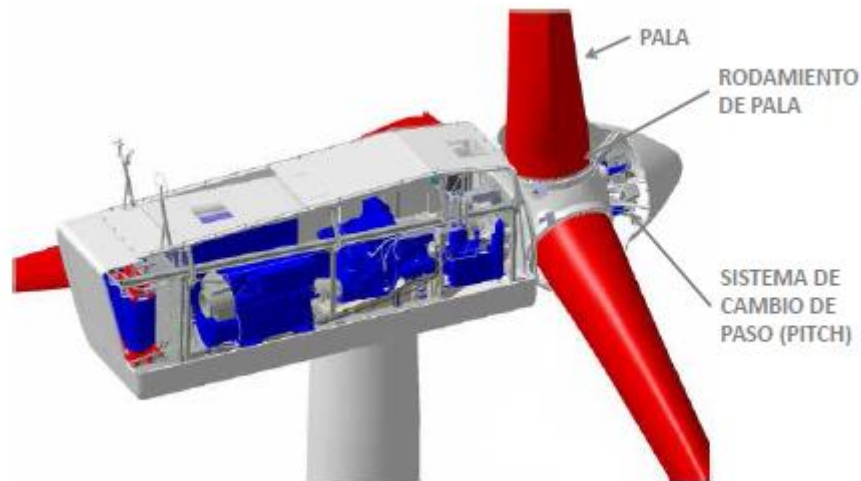


Figura 2: Elementos a diagnosticar

Otro elemento a tener en cuenta son los daños ocasionados por los rayos, riesgo al que la pala está expuesta. Si bien muchas palas tienen sistemas pararrayos, éstos están diseñados para unas intensidades específicas por encima de las cuales el fabricante no da garantías.



Figura 3: Pala afectada por el rayo

En este punto cabe considerar, en función del proyecto, la instalación de elementos medidores del número y la intensidad de los impactos de rayo por dos razones principales:

- Reclamación de daños al fabricante.
- Control inmediato daños.

Respecto a la reclamación de daños, puede haber siniestros catastróficos de palas en los que el fabricante no acepte responsabilidad alegando una intensidad del rayo superior a la del diseño del sistema pararrayos.

Respecto al control inmediato de daños, es aconsejable una inspección visual de las palas por el personal de mantenimiento tras detectarse un impacto de rayo en pala.

No se incluyen en este documento el análisis de técnicas avanzadas de seguimiento online del conjunto rotor palas, como pueden ser ondas ultrasónicas, fibra óptica, etc... Es aconsejable determinar el modelo de seguimiento online previamente al montaje de la máquina.

### 1.1.1. Implicaciones y Responsabilidades.

Se detallan a continuación los agentes afectados y las principales responsabilidades de los mismos:

| Propietarios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ISP                                                                                                                                                                                                                                                  | Empresa mantenedora de palas                                                                                         | Cía. De seguros                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Deberán tomar las medidas necesarias, a su cargo, para evitar fallos catastróficos en el rotor debido al riesgo para las personas que estos suponen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deben permitir el acceso a las instalaciones y suministrar la información requerida</li> <li>• Analizar las conclusiones del informe y realizar las reparaciones pertinentes.</li> </ul> | <p>Deberán de realizar las inspecciones, analizar los resultados y proponer la acción correctora que corresponda. Es recomendable que sea la misma ISP la realice la inspección para grandes flotas de manera que los criterios sean homogéneos.</p> | <p>Debe realizar la reparación de los fallos detectados de manera fiable. Debe dar garantía sobre la reparación.</p> | <p>Debe informar a la propiedad de las incidencias que superen los valores medios de tasas de fallo y en la medida de lo posible las mejores prácticas.</p> |

### 1.1.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar

Debido a importancia de que cualquier daño no evolucione de cosmético a estructural es **aconsejable una inspección anual del estado de las palas**. Esta inspección es recomendable incluso en el periodo de garantía debido a la posibilidad de daños causados por rayos.

Se inspeccionarán el 100% de las palas.

En los últimos años se ha seguido por lo general una estrategia orientada a inspeccionar el estado de las palas y a repararlas en periodos estivales, debido a los menores regímenes de viento y mayores horas de luz, con un doble objetivo:

- Económico. La parada tiene menor impacto económico.
- Seguridad. La mayoría de las operaciones con cesta, los trabajos verticales y los drones tienen límites de viento máximos muy estrictos.

No obstante, es necesario revisar este criterio, en base a **la nueva estructura de precios tras la Reforma Energética pudiéndose optimizar el coste del servicio si evitamos su estacionalización.**

### 1.1.3. Alcance de la inspección.

El alcance de la inspección debe evaluar el estado general de la instalación e incluir todos los daños potenciales que puede presentar el conjunto palas/rotor.

En la campaña de inspecciones se definirán las máquinas a reparar de manera urgente, las que se deben programar su reparación para el año en curso y los daños que, sin requerir una reparación, es necesario determinar su evolución en la siguiente campaña.

A continuación se detalla una lista de defectos que deben poder ser detectados en la inspección:

#### DAÑOS MÁS FRECUENTES EN PALAS

##### DAÑOS EN EL BORDE DE ATAQUE.

- Grieta en borde de ataque
  - Borde de ataque roto
  - Pitting y picaduras en borde de ataque
  - Erosión en borde de ataque
  - Erosión grave o severa en borde de ataque
  - Desconchamiento desde el pitting
- 
- Most common type of damage to most critical part of the aerodynamic airfoil
    - May or may not require structural ply replacement
  - Common approach is to repair is to fill and fair back to smooth aerodynamic surface
    - Abrasion of damage and surrounding area prior to fill & fair with epoxy or polyurethane paste



Figura 4: Daño típico en el borde de ataque de la pala (Fuente: INGTEAM/Skillwind)

#### DAÑOS EN BORDE DE SALIDA

- Grieta en borde de salida
- Borde de salida despegado
- Borde de salida roto
- Erosión en borde de salida
- Pitting y picaduras en borde de salida

#### DAÑOS EN CONCHA O VALVA

- Desconchamiento
- Agujeros o grietas con telas dañadas
- Grietas en la unión viga, largueros-concha o valva
- Perdida de Vortex



Figura 5: Daños en la concha o valva.

#### DAÑOS EN PUNTA

- Grietas en unión baby
- Punta abierta
- Impacto de rayo sin/con telas dañadas
- Cinta 3M despegada o dañada
- Cierre del Aerofreno
- Comprobación escotilla aerofreno

#### DAÑOS EN RAIZ

- Grieta en raíz en borde de ataque
- Grieta en raíz en borde de salida
- Óxido o grietas en extender

#### DAÑOS EN GEL COAT

- Manchas de grasa
- Otro tipo de suciedad
- Capeado de coat o coat degradado

- Grietas en el coat o cortes de cutter

#### DAÑOS MÁS FRECUENTES EN CONO

- Grietas o piezas despegadas
- Reconstrucciones
- Superficies con debilidad estructural
- Mamparo roto o agrietado

### 1.1.4. Técnicas de inspección. ventajas e inconvenientes.

Existen diferentes técnicas de inspección cuyas ventajas e inconvenientes describimos a continuación.

| TÉCNICA                       | VENTAJAS                                                                                                                                                  | DESVENTAJAS                                                                                                             | ALCANCE PROPUESTO                           |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Cuerdas (Trabajos verticales) | 1. Calidad de inspección<br>2. Identificación de daños superficiales muy precisa<br>3. Se puede aprovechar la inspección para hacer pequeñas reparaciones | 1. Tiempo de parada de aerogenerador<br>2. H&S.<br>3. Restricciones por velocidad de viento.                            | Inspecciones final de garantía o similar    |
| Plataforma                    | 1. Calidad de inspección<br>2. Identificación de daños superficiales muy precisa<br>3. Se puede aprovechar la inspección para hacer pequeñas reparaciones | 1. Elevado coste<br>2. Disponibilidad de grúas,<br>3. Restricciones por velocidad de viento                             | Inspecciones final de garantía o similar    |
| Drones                        | 1. H&S<br>2. Posibilidad de inspeccionar la torre y la fibra de la nacelle en la misma inspección.                                                        | 1. Se necesita experiencia en manejo y/o contratar una empresa especializada<br>2. Duración de la batería muy limitada. | Inspecciones muy concretas o limitadas      |
| Telescopio                    | 1. H&S<br>2. Bajo coste<br>3. Rapidez                                                                                                                     | 1. Necesidad de mucha formación y experiencia de los técnicos<br>2. Identificación de daños menos precisa.              | Inspecciones periódicas anuales             |
| Robot                         | 1. H&S<br>2. Rapidez                                                                                                                                      | 1. Se necesita experiencia en manejo y/o contratar una empresa especializada                                            | Inspecciones concretas y periódicas anuales |



Figura 6: Inspección con cuerdas

### 1.1.5. Requisitos previos a la inspección

La empresa que realizará la inspección debe garantizar la posesión, lectura y comprensión de:

- Permisos necesarios para la inspección.
- Documentación de prevención en regla.
- Planes de seguridad y salud.
- Medidas de prevención de riesgos específicas.
- Principales modos de fallo históricos en la tecnología.
- Informes de las inspecciones técnicas anteriores.
- Documentación sobre modificaciones o reparaciones previas

### 1.1.6. Informe de inspección

Para determinar la evolución de estos daños de cara a tomar la óptima decisión de mantenimiento es fundamental un reporte sistemático y de calidad de los resultados de las inspecciones que permita determinar claramente la evolución de los daños.

Se recomienda reflejar los resultados de la inspección a través de plataformas web interactivas, con el fin de optimizar la toma de decisiones y de agilizar la búsqueda de información.

De esta manera, el tratamiento puede realizarse desde distintas ubicaciones, se puede hacer un seguimiento del histórico de inspecciones para un mismo aerogenerador y resulta muy fácil establecer comparativas con otros aerogeneradores/zonas/modelos,...

A nivel general, el informe debe incluir:

#### **Datos generales:**

- Parque eólico.
- País/Región.
- Modelo de aerogenerador.

- Dimensiones de:
  - Torre
  - Pala
- Modelo de pala y croquis identificativo con números de serie.
- Número de aerogeneradores del parque y potencia total (MW).
- Fecha de puesta en marcha del parque eólico.

#### **Inspección:**

- La fecha y las condiciones meteorológicas en el día de la inspección.
- Número de inspección único.
- Tipo de inspección (SUELO, CESTA, VERTICALES, DRON, ROBOT, OTROS).
- Número de aerogenerador y palas inspeccionadas.
- Posibles desviaciones de alcance sobre los requisitos iniciales.
- Indicación de la próxima fecha de inspección (si procede).

#### **Responsabilidades:**

- Responsable de los trabajos por parte del cliente.
- Seguimiento de revisiones, con los nombres del redactor/a del informe, un/a revisor/a y finalmente la/s persona/s que lo aprueba, incluyendo las fechas.
- Técnicos/as que hacen la inspección.
- Acreditación de la formación de los técnicos/as que hacen la inspección.
- Datos de contacto.



Figura 7: Inspección con robot

#### **Desarrollo del informe:**

- Listado de material/herramientas utilizadas y certificados de calibración en su caso.

- Resumen individual de daños para cada una de las palas. Con localización, catalogación y clasificación según severidad. Por ejemplo:
  - i. Croquis de localización del daño.

Catalogación de daños:

| Tipo de daño     |
|------------------|
| Estructural      |
| Mecánico         |
| De recubrimiento |
| Aerodinámico     |

- ii. Clasificación por categorías según severidad:

| Categoría de daño | Prioridad de actuación | Acción recomendada                                                                |
|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Cosméticos     | 0 - Ninguna            | No se requieren acciones adicionales                                              |
| 2. Menores        | 0 - Ninguna            | Inspeccionar y re-categorizar en un año                                           |
| 3. Moderados      | 1 – Baja               | Hacer seguimiento e inspeccionar en 1 año                                         |
| 4. Severos        | 2 - Media              | Reparar y re-categorizar dentro de 6 meses                                        |
| 5. Críticos       | 3 – Alta               | Detener inmediatamente el aerogenerador y reparar avería antes de poner en marcha |

- iii. Reportaje fotográfico de daños. Fotografías de conjunto y de detalle por defecto encontrado.
- iv. Criterios aplicados para la catalogación de daños.
- v. Comentarios y las anomalías descubiertas.
- vi. Resumen de los resultados. Conclusiones
- vii. Indicación de la próxima fecha de inspección



Figura 8: Inspección con dron.

**Diagnóstico final.**

El diagnóstico final establecerá el estado general del parque, indicando si existe un riesgo para las personas. Incluirá una tabla resumen de los daños detectados y descripción de las medidas correctoras y propuestas de mejora generales.

Por ejemplo:

- i. No se han encontrado daños que supongan un riesgo para las personas y/o para la integridad del aerogenerador/parque eólico.
- ii. Se han encontrado daños en la inspección:
  1. El aerogenerador/parque puede seguir funcionando siempre que se establezcan medidas correctivas y plazos de solución.
  2. El aerogenerador/parque no puede seguir funcionando. Explicación de los motivos.



Figura 9: Inspección con cesta

**1.1.7. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector**

La formación recomendada para las inspecciones se desglosa en una parte común, general a cualquier técnica empleada, y una parte específica enfocada a las particularidades de cada una de ellas.

A continuación se resume:

| Formación común                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                |                                                                                             |                                                               |                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| GWO<br>RD614: 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. BOE nº 148 21/06/2001<br>Formación específica de riesgos en aerogenerador a inspeccionar<br>Formación técnica específica de parada de máquina, bloqueo y operación del modelo de aerogenerador a inspeccionar. (Esta formación puede obviarse si las tareas de operación del aerogenerador las realiza un tercero acreditado).<br>Extinción de incendios<br>Primeros auxilios |                                                                                |                                                                                             |                                                               |                                                    |
| Formación específica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                |                                                                                             |                                                               |                                                    |
| CUERDAS<br>(Trabajos<br>verticales)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | PLATAFORMA                                                                     | DRONES                                                                                      | TELESCOPIO                                                    | ROBOT                                              |
| - OF I y II (ANETVA)<br>- Inspección y reparación de palas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | - Uso y manejo de plataformas elevadoras<br>- Inspección y reparación de palas | - Certificado emitido por organización de formación aprobada (ATO)<br>- Inspección de palas | - Inspección de palas<br>- Uso y manejo de cámara fotográfica | - Inspección de palas<br>- Uso y manejo del robot. |

La experiencia mínima para realizar cualquier tipo de inspección de forma autónoma se establece en 6 meses.

## 4. Inspecciones de seguimiento contractual.

Las inspecciones de seguimiento contractual tienen por objeto la determinación del estado de los aerogeneradores para la reclamación de daños antes de la finalización del contrato o para la valoración de los activos.

El objeto es detectar problemas que deben ser resueltos por el mantenedor antes de la finalización del contrato o cuya reparación suponga un impacto económico importante y pueda condicionar el precio de compra del activo.

Se debe centrar por tanto en daños que supongan un coste de reparación importante. Por ello, se deberá evaluar fielmente el estado de los grandes componentes, principalmente palas y multiplicadoras.

Usualmente se suelen realizar ante las siguientes situaciones:

- Final del periodo de garantía y extensiones.
- Cambio de contratista de mantenimiento.
- Transferencia de propiedad.

Ante la finalización de un periodo de garantía o la terminación de un contrato en la modalidad Full Warranty es necesario comprobar que la situación de la flota sea la adecuada. En caso contrario se deberá reclamar la solución de los problemas detectados al mantenedor en base a lo establecido en el contrato.

Todo problema que no se detecte y se denuncie en plazo, podrá no ser asumido por el aportador de la garantía. De ahí la importancia de realizar este tipo de inspecciones.

De la misma manera, antes de firmar un contrato FW, el nuevo mantenedor y el propietario necesitarán tener una foto del estado del activo para establecer las cláusulas y el precio con el que firmar el nuevo contrato. No es lo mismo asumir un FW de un parque en perfecto estado que otro mal mantenido o con problemas en serie.

Finalmente, a la hora de transmitir la titularidad de un parque es importante conocer la situación de éste para conocer los costes de mantenimiento futuros y determinar la existencia de riesgos en la operación futura de los parques.

Como se ha comentado, es importante la inspección del estado de los grandes componentes cuyo coste de reparación es grande.

#### 4.1. Implicaciones y Responsabilidades

Se detallan a continuación las implicaciones y responsabilidades dentro de este apartado de seguimiento contractual:

| Propietarios                                                                                                                                                                                                                                                                               | Fabricantes de aerogeneradores /manTenedor FW                                 | ISPs                                                                                | Bancos y entidades financieras                                                                                                                             | Cía. De seguros                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Principales interesados en la detección de daños en garantía. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Deben permitir el acceso a las instalaciones y suministrar la información requerida</li> <li>• Analizar las conclusiones del informe y reclamar formalmente en garantía.</li> </ul> | Aceptar los resultados del informe y reparar los daños detectados a su coste. | Deberán de realizar las inspecciones de garantía de manera independiente y objetiva | El informe debe servirle para la detección de futuros riesgos operativos y estimar costes operativos futuros que le ayuden en la valoración de los activos | El informe debe servirle para la determinación de riesgos. |

## 4.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar

No son inspecciones periódicas. Se realizan ante las siguientes situaciones :

- Final del periodo de garantía y extensiones.
- Cambio de contratista de mantenimiento.
- Transferencia de propiedad.

Se recomienda la inspección del 100% de los aerogeneradores para poder asegurar una reclamación en garantía con éxito.

Si la flota fuera muy grande y por tanto el coste de inspección, se podría inspeccionar una muestra representativa y en función de los resultados, incrementar el plan de inspección. Podemos encontrar fórmulas de cálculo del tamaño de la muestra en función de estas variables en la bibliografía especializada, en función del margen de error máximo admitido y del nivel de confianza.

No obstante, para parques grandes y como primera medida, se recomendaría la inspección del 20% de los aerogeneradores.

- Si no aparecieran daños destacables finalizaríamos el proceso.
- Si aparecieran daños significativos, se incrementaría el número de máquinas inspeccionadas pero reduciendo el alcance al modo de fallo detectado. Por ejemplo, si detectáramos daños en multiplicadoras, incrementaríamos el número de máquinas inspeccionadas en otro 20% reduciendo la inspección exclusivamente a este equipo.

## 4.3. Alcance de la inspección

Se elaborará un check list acorde a la tecnología. Deberá de ser un documento que incorpore el chequeo de cualquier modo de fallo que se haya detectado históricamente.

Se deberán revisar en detalle:

**Cimentaciones:** se deberá comprobar la verticalidad de las torres y la ausencia de movimiento relativo entre cimentación y torre.



Figura 10: Torre inclinada.

**Torre** : comprobación de estado general, uniones atornilladas, corrosión y la existencia de posibles abolladuras.

**Bastidor** : estado del mismo, grietas y estado de reparaciones anteriores.

**Corona de yaw** : ausencia de dientes rotos, grietas y ralladuras.

- Líquidos penetrantes.



Figura 11: Grietas en corona. Líquidos penetrantes.

**Eje principal** : estado de los rodamientos y grietas.

- Líquidos penetrantes.
- Estado de la grasa.
- Temperaturas de funcionamiento



Figura 12 : rodamiento principal dañado.

**Multiplicadora :** daños en engranajes ausencia de dientes rotos y estado correcto de los rodamientos.

- Se revisará el último análisis de aceite.
- Medida de vibraciones
- Apertura de tapa y detección de partículas mecánicas.
- Videoscopia.

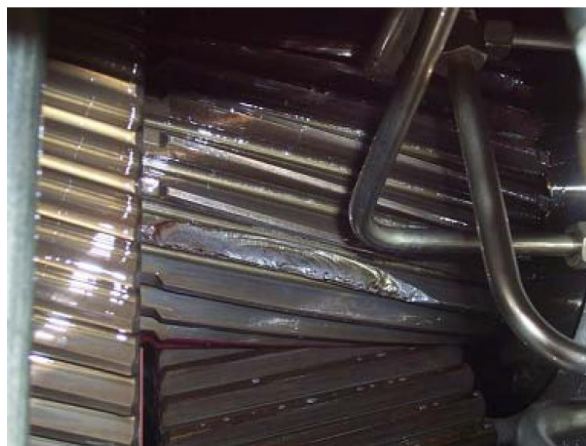


Figura 13: Daños en diente de multiplicadora



Figura 14: Daños en rodamientos.

**Generador:** estado de los cojinetes y alineación.

- Medida de vibraciones.

**Palas :** inspección de daños en pala y tornillería.

El alcance del informe del plan de inspección determina el método a seguir y consiguientemente la duración de la misma:

- Cuerdas, drones, plataforma....
- Ensayos no destructivos, termografía,
- Datos del SCADA

#### 4.4. Requisitos previos a la inspección

- Documentación del parque eólico.
- Permisos necesarios para la inspección.
- Planes de seguridad y salud.
- Medidas de prevención de riesgos específicas.
- Historial de mantenimiento – Relación de fallos en grandes componentes y medidas correctivas. Partes de trabajo.
- Datos del Scada.
- Manual de instrucciones del fabricante
- Documentación sobre modificaciones previas

#### 4.5. Informe de Inspección

El informe de inspección deberá incluir al menos los siguientes datos :

##### Datos del activo

- Parque eólico.

- Fecha de puesta en marcha del parque eólico.
- Número de aerogeneradores del parque y potencia total (MW).
- Localización.
- Modelo de aerogenerador.
  - Dimensiones de:
    - Torre.
    - Rotor

### Inspección:

- Fecha de la inspección.

### Responsabilidades

- Responsable de los trabajos por parte del cliente.
- Personal que realiza la inspección
- Acreditación de la formación de los técnicos/as que hacen la inspección.
- Seguimiento de revisiones, con los nombres del redactor/a del informe, un/a revisor/a y finalmente la/s persona/s que lo aprueba, incluyendo las fechas.
- Datos de contacto.

### Desarrollo del informe

- Listado de material/herramientas utilizadas y certificados de calibración en su caso.
- Criterios aplicados para la catalogación de daños.
- Comentarios y las anomalías descubiertas.
- Reportaje fotográfico de daños. Fotografías de conjunto y de detalle por defecto encontrado.
- Catalogación de daños:

| Categoría de daño         | Acción recomendada              |
|---------------------------|---------------------------------|
| Desgaste acorde a la edad |                                 |
| Daños Moderados           | Negociar incremento garantía    |
| Daños Severos             | Reclamar sustitución programada |
| Daños Críticos            | Reclamar sustitución inmediata  |

- Resumen de los resultados. Conclusiones

### **Diagnóstico final**

Se deberá emitir un informe final que refleje la situación general del parque y la relación de daños a reclamar en garantía.

#### **4.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector**

Los inspectores deben tener vigentes la certificación GWO. Formación específica de riesgos en aerogenerador a inspeccionar y en las técnicas de inspección.

La empresa deberá de tener una experiencia en inspecciones de al menos dos años, y los técnicos una experiencia de seis meses.

### **5. Inspecciones de extensión de vida.**

Los aerogeneradores han sido diseñados para una vida útil de 20 años. Ello no significa que no se puedan seguir operando de manera segura una vez superada esa edad si han estado perfectamente mantenidos.

Actualmente, muchas empresas amortizan los parques eólicos a 25 y 30 años, por encima de vida de diseño. Esto es razonable puesto que para el diseño se han considerado que las condiciones de viento son las máximas correspondientes al tipo de clase de la certificación en base a la norma IEC 61400-1. En el emplazamiento real las condiciones son distintas y en general por debajo de las que marca la norma. Además, el fabricante utiliza unos coeficientes de seguridad que, aunque cada día son más ajustados, deberían incrementar la vida de los componentes, Por último, una turbina eólica es un ensamblaje de componentes y muchos de ellos se sustituyen durante la vida de los parques.

La certificación se basaba en la IEC 61400-1 de diseño con ensayos en fabrica, estableciendo una vida útil estimada de 20 años.

Desde el punto de vista administrativo, aunque las autorizaciones no tienen límite temporal no existe normativa específica para alargar la vida de los parques más allá de los 20 años.

Cualquier incidente catastrófico con daños a las personas pueden poner en entredicho la extensión de la vida de los parques por lo que es fundamental para el propietario evitar que un accidente de este tipo se produzca.



Figura 16: aerogenerador siniestrado en el suelo.

Es importante comprobar que no existen daños que puedan poner en riesgo la operación segura de los aerogeneradores y este es el principal objetivo de las inspecciones de extensión de vida. Se debería detectar cualquier problema que pueda suponer un riesgo de fallo catastrófico de cualquier componente que pueda poner en peligro la integridad de las personas.

El tecnólogo, como el mejor conocedor del aerogenerador y de sus criterios de diseño, debiera elaborar un check list estándar para cada modelo de turbina puesto que dispone de los cálculos de diseño. Ese check list se deberá particularizar para cada parque en base al histórico de mantenimiento y mejoras realizadas.

Algunos fabricantes de aerogeneradores y empresas independientes han tomado el camino de certificar la extensión de vida de la máquina en base a modelos aerolásticos y el recurso en el emplazamiento. Muchas veces el análisis realizado no es tan exhaustivo, que incluya la calidad del mantenimiento realizado en la vida de la máquina, los sobreesfuerzos a los que ha podido estar afectada debido a diseños originales que han debido modificarse, operación temporal con controles demasiado agresivos o con errores, etc. Por tanto, el proceso de certificación de la extensión de vida es caro y con unos resultados limitados. No permiten asegurar la vida del aerogenerador sino dar unas valoraciones cualitativas de los componentes que teóricamente fallarán antes. Por ello no pueden suplir la realización de inspecciones para la comprobación del estado real de la máquina.



Figura 16: pala desprendida por la raíz.

### 5.1. Implicaciones y Responsabilidades.

La extensión de vida de los parques implica una serie de medidas y acciones con diversos actores que deberán entre todos ellos asegurar la operación segura de los parques más allá de los 20 años.

| Administración autonómica                                                                                             | Propietarios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Fabricantes de aerogeneradores                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ISPs                                                                                                                                                                                                                                                                             | Cía. De seguros                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deberá de legislar las medidas a implantar para extender la vida operativa de los parques en condiciones de seguridad | Deberán tomar las medidas, a su cargo, necesarias para cumplir con los requisitos exigidos por la Administración y asegurar la prevención en los parques. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deben permitir el acceso a las instalaciones y suministrar la información requerida</li> <li>• Analizar las conclusiones del informe y presentar el plan</li> </ul> | Deberán de analizar en base a los datos de diseño y experiencia operativa los riesgos de la máquina y efecto de la fatiga acumulada y en base al análisis preparar un plan de inspección recomendado. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deben revisar la vida a fatiga según el estado actual de la tecnología y</li> </ul> | Deberán de realizar las inspecciones de extensión de vida según los requisitos marcados por la administración o las recomendaciones del sector. Deberán dar soporte a la propiedad en la revisión de los check list del tecnólogo y su desarrollo en base a las particularidades | Deberán vigilar que se cumplen con los requisitos previstos por la Administración y/o que las inspecciones se hagan con las mejores prácticas- |

| Administración autonómica | Propietarios                              | Fabricantes de aerogeneradores                                                                                                                                                         | ISPs                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Cía. De seguros |
|---------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|                           | de actuación en caso de que sea necesario | determinar los elementos críticos para la seguridad. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deben elaborar un check list de inspección para cada modelo de aerogenerador.</li> </ul> | del parque y experiencia operativa. <ul style="list-style-type: none"> <li>• No es necesario que sean OCAs, deben ser legalmente habilitadas pudiendo establecerse convenios de colaboración.</li> <li>• Empresas con experiencia, medios suficientes para desarrollar la inspección.</li> </ul> |                 |

## 5.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar

La inspección se realizará sobre el 100% de los aerogeneradores.

La periodicidad de la inspección dependerá de la edad de los aerogeneradores.

- Se propone una inspección bianual del año 20 al 26.
- A partir del año 27 pasaría a ser anual.

Estas recomendaciones tienen un carácter general suponiendo que el parque no tuviera problemas crónicos. En el caso de que los tuviera, deberían establecerse planes Ad Doc para la vigilancia de estos problemas. La periodicidad de estas inspecciones debiera ser tal que la evolución del fallo hasta la siguiente inspección no pudiera provocar un siniestro catastrófico.

## 5.3. Alcance de la inspección

La inspección se realizará sobre el check list propuesto por el tecnólogo o la evolución del mismo desarrollado por el promotor teniendo en consideración las particularidades del parque y la experiencia operativa.

Dicho check list deberá de ser un documento vivo que incorpore cualquier nuevo modo de fallo que se haya detectado en la tecnología.

Debe incluir al menos las siguientes tareas sensibles desde el punto de vista de la seguridad:

- Determinación del estado general de la turbina con especial atención a los sistemas de seguridad. Extintores, setas de seguridad, bulones, luminarias, señalización.
- Rotor/palas.



Figura 17: buje con palas rotas

- Comprobación de daños estructurales en palas.
- Grietas en inserto metálico (si necesario) y/o extender.
  - Comprobación del ALU ring por ultrasonidos.
- Comprobación del estado de los rodamientos de paso (si existen). Deben estar en unas condiciones que aseguren la capacidad de giro del mismo para llevar las palas a posición de bandera evitando riesgos de embalamiento.



Figura 18: grietas en rodamiento de pala.

- Pernos de pala : comprobación de aprietes, pernos faltantes y vida remanente a fatiga. Corrosión.



Figura 19: desprendimiento de pala por rotura de pernos

- Comprobación estado aerofrenos si existieran.
- Eje principal.
  - Eje principal. Ausencia de grietas o desgastes, especialmente en aquellas tecnologías con histórico de roturas.
  - Rodamiento principal (simple o doble). Ausencia de daños. Análisis de grasa. Medidas de vibraciones.
  - Cardan. Estado alineación



Figura 20: Daños en rodamientos de eje principal.

- Sistema de orientación.
  - Daños graves en corona con rotura de dientes consecutivos. Grietas. Líquidos penetrantes.
  - Estado general motorreductoras.
- Multiplicadora.



Figura 21: Daños en dientes multiplicadora.



Figura 22: Detalle daños en dientes.

- Cimentaciones.
  - Comprobación de estado general, grietas.
  - Inexistencia de movimiento relativo.
  - Verticalidad de la torre.



Figura 23: Daños en cimentación.

- Torre.
  - Detección de abolladuras y grietas en torres de hormigón.
  - Estado de las juntas en torres de cemento. Comprobación de los elementos de postensado.
  - Estado de los pernos de unión de tramos. Corrosión
- Bastidores
  - Detección de grietas y/o deformaciones.
- Revisión Plan de evacuación, y de prevención del parque.

El check list deberá ser un elemento dinámico que incorpore cualquier nuevo riesgo que pueda detectarse.

El alcance del informe del plan de inspección determina el método a seguir y consiguientemente la duración de la misma :

- Cuerdas, drones, plataforma....
- Ensayos no destructivos, termografía,
- Datos del SCADA

## 5.4. Requisitos previos a la inspección

- Documentación del parque eólico.
- Permisos necesarios para la inspección.
- Planes de seguridad y salud.
- Medidas de prevención de riesgos específicas.
- Historial de mantenimiento – Relación de incidentes catastróficos y medidas correctivas. Partes de trabajo.
- Datos del Scada.
- Información del fabricante :
  - Check list de revisión de extensión de vida.
  - Manual de instrucciones del fabricante
- Informes sobre todas las inspecciones técnicas anteriores.
- Documentación sobre modificaciones previas
- Otra información obtenida en mantenimientos predictivos periódicos (por ejemplo, medidas de vibraciones).

## 5.5. Informe de Inspección

El informe de inspección deberá incluir al menos los siguientes datos :

Datos del activo

### Parque eólico.

- Fecha de puesta en marcha del parque eólico.
- Número de aerogeneradores del parque y potencia total (MW).
- Localización.
- Modelo de aerogenerador.
  - Dimensiones de:
    - Torre.
    - Rotor

### Inspección:

- Fecha de la inspección.
- Indicación de la próxima fecha de inspección (si procede).
- Responsable de los trabajos por parte del cliente.
- Personal que realiza la inspección

**Responsabilidades:**

- Acreditación de la formación de los técnicos/as que hacen la inspección.
- Seguimiento de revisiones, con los nombres del redactor/a del informe, un/a revisor/a y finalmente la/s persona/s que lo aprueba, incluyendo las fechas.
- Datos de contacto.

**Desarrollo del informe**

- Listado de material/herramientas utilizadas y certificados de calibración en su caso.
- Criterios aplicados para la catalogación de daños.
- Comentarios y las anomalías descubiertas.
- Reportaje fotográfico de daños. Fotografías de conjunto y de detalle por defecto encontrado.
- Catalogación de daños:

| Categoría de daño | Prioridad de actuación | Acción recomendada                                                         |
|-------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Menores           | 0 - Ninguna            | No se requieren acciones adicionales                                       |
| Severos           | 2 - Media              | Reparar y reinspeccionar dentro de 6 meses                                 |
| Críticos          | 3 – Alta               | Detener inmediatamente el aerogenerador y reparar antes de poner en marcha |

**Diagnóstico final**

Se deberá emitir un informe final que indique la situación del parque y la capacidad del mismo para funcionar en unas condiciones de seguridad adecuadas.

Para la continuidad sin mayores medidas se deberá emitir un certificado de que se ha realizado la inspección y no se han encontrado daños que supongan un riesgo para las personas y/o para la integridad del aerogenerador/parque eólico.

En dicho informe se incluirá la fecha de realización y la de la próxima inspección.

En el caso de encontrarse daños en la inspección deberá indicarse:

- Si los daños son leves o no suponen un riesgo inminente, se permitirá la operación con limitaciones del aerogenerador detallando :
  - Limitaciones operativas.
  - Medidas correctivas y plazos de solución. Antes de la finalización del plazo, se deberá certificar en inspección que las medidas correctivas se

- han llevado a cabo y resuelto el problema, emitiéndose el correspondiente certificado,
- Si los daños son graves con afección importante a la prevención deberá establecerse la paralización del equipo, indicando los motivos asociados a dicha paralización y las acciones correctoras necesarias acometer. La realización de las acciones correctoras se deberá comprobar en una inspección previa a la puesta en marcha y emitir el correspondiente certificado.

## **5.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector**

La empresa que realice inspecciones de extensión de vida deberá estar acreditada por la Administración correspondiente y cumplir con los requisitos que exija.

Es recomendable que tenga certificación GWO. formación específica de riesgos en aerogenerador a inspeccionar y en las técnicas de inspección.

La empresa deberá de tener una experiencia en inspecciones de al menos dos años, y los técnicos una experiencia de seis meses.

## **6. Inspección del estado general de los aerogeneradores.**

Su objetivo es la supervisión del estado de las máquinas para comprobar que el mantenimiento realizado por el mantenedor ha sido el correcto.

En la actualidad una gran parte de los contratos de mantenimiento tienen como indicador de referencia la disponibilidad de los parques. Sin embargo, un mal mantenimiento no se traduce de manera inmediata en una bajada de la disponibilidad, sino que las prestaciones tardarán un tiempo en degradarse. No es nada inusual comprobar en inspecciones o auditorías un mal estado de las máquinas a pesar de que el parque mantiene una buena disponibilidad.

Por otro lado, se deberá comprobar que el mantenedor realiza los trabajos de manera segura y con todos los medios comprometidos según el contrato.

Muchas veces el contratista prioriza sus recursos en mantener una alta disponibilidad dejando sin solucionar otro tipo de problemas que no paran la máquina. Son los trabajos “pendientes” que se resolverán en intervenciones posteriores.

Muchas veces se da una acumulación de trabajos pendientes que pueden poner en riesgo la mantenibilidad del aerogenerador ya que no pueden llevarse a cabo con los

recursos asignados a parque por la empresa mantenedora y se necesitarán recursos externos.

Es importante reflejar los trabajos pendientes de manera sistemática para el buen control de las tareas de mantenimiento en el parque. Esto no siempre es así, ya que muchas no se reportan adecuadamente en los partes de trabajo.

Algunos trabajos pendientes no paran la máquina pero que originan un desgaste prematuro y anticipan el fallo de componentes costosos. Debemos tener perfectamente identificados este tipo de trabajos pendientes y su evolución en el tiempo. Un ejemplo es la desalineación del tren mecánico.

Es conveniente hacer este tipo de inspecciones de manera periódica dado que cuando se detecta una disminución de la disponibilidad es posible que la degradación sea tal que requiera acciones correctivas costosas.



### **6.1. Implicaciones y Responsabilidades**

Este tipo de inspecciones las debe realizar una ISP por orden de la propiedad para evaluar la calidad de los trabajos realizados por el contratista de mantenimiento ya sea el tecnólogo u otra ISP, que debe ser independiente de la primera.

Debido a los posibles conflictos de intereses entre ISP los criterios de valoración deben ser claros y deben tener una valoración numérica. Los fallos deben quedar perfectamente documentados, con soporte fotográfico.

### **6.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar**

La periodicidad dependerá de la experiencia que tengamos con el proveedor de mantenimiento y de la valoración de la anterior inspección. Se recomienda realizar tras el primer mantenimiento mayor tras un cambio de contratista. La repetición será anual si los resultados no son satisfactorios y si lo son podría darse una periodicidad bianual o trianual.

Dado que se evalúa la situación general de la flota y la calidad del trabajo de la empresa mantenedora, no es necesario realizar este tipo de inspecciones al 100% de la flota. Bastará con una muestra de un 10%, con un mínimo de 3 aerogeneradores.

Los aerogeneradores a inspeccionar serán los elegidos por la propiedad.

### 6.3. Alcance de la inspección

En estas inspecciones se debe evaluar el estado general de la máquina y comprobar la realización correcta del check list de preventivo para cada tecnología.

Se deberá reportar el estado de limpieza de la máquina y los trabajos “pendientes” en máquina.

Se deberá detectar cualquier elemento de seguridad que esté bypassado.



### 6.4. Requisitos previos a la inspección

- Documentación del parque eólico.
- Permisos necesarios para la inspección.
- Planes de seguridad y salud.
- Medidas de prevención de riesgos específicas.
- Información del fabricante :
  - Check list de preventivo
  - Manual de instrucciones del fabricante

### 6.5. Informe de Inspección

El informe de inspección deberá incluir al menos los siguientes datos :

Datos del activo

#### Parque eólico.

- Fecha de puesta en marcha del parque eólico.
- Número de aerogeneradores del parque y potencia total (MW).

- Localización.
- Modelo de aerogenerador.
  - Dimensiones de:
    - Torre.
    - Rotor
- **Inspección:**
  - Fecha de la inspección.
  - Aerogeneradores inspeccionados.
- **Responsabilidades**
  - Responsable de los trabajos por parte del cliente.
  - Personal que realiza la inspección
  - Acreditación de la formación de los técnicos/as que hacen la inspección.
  - Seguimiento de revisiones, con los nombres del redactor/a del informe, un/a revisor/a y finalmente la/s persona/s que lo aprueba, incluyendo las fechas.
  - Datos de contacto.
- **Desarrollo del informe**
  - Listado de material/herramientas utilizadas y certificados de calibración en su caso.
  - Evaluación del estado general de limpieza.
  - Documentación y capacitación de personal
  - Herramientas
  - Cumplimiento del manual/especificaciones de mantenimiento
  - Reportaje fotográfico de daños. Fotografías de conjunto y de detalle por defecto encontrado.
  - Comentarios y las anomalías descubiertas.
  - Listado de pendientes y catalogación de los mismos :

| Categoría de pendiente | Prioridad de actuación | Acción recomendada                 |
|------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1. Menores             | Baja                   | A reparar en próximo mantenimiento |
| 2. Medios              | Media                  | Reparar dentro de 6 meses          |
| 3. Críticos            | Alta                   | Reparar antes de un mes.           |

- Criterios aplicados para la valoración numérica de los resultados.

En caso de detectarse un riesgo para la operación del aerogenerador, se deberá poner en inmediato conocimiento del propietario.

- **Diagnóstico final**

Se deberá emitir un informe final que evalúe el estado de la máquina y la calidad del mantenimiento de manera numérica.

En función de puntuación obtenida el parque obtendrá un certificado diferente :

- Q0 : Mantenimiento deficiente.
- Q1 : Cumple con los requisitos mínimos de mantenimiento.
- Q2 : Mantenimiento adecuado.
- Q3 : Estado excelente



## **6.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector**

El inspector debe tener vigente certificación GWO. formación específica de riesgos en aerogenerador a inspeccionar y en las técnicas de inspección.

La empresa deberá de tener una experiencia en inspecciones de al menos dos años, y los técnicos una experiencia de seis meses.

## **7. Otras inspecciones.**

### **7.1. Iluminación interior. Inspecciones del sistema en modo operación y en modo emergencia.**

#### **7.1.1 Objetivos**

Los objetivos de la inspección periódica en Iluminación y funcionamiento son:

1. Garantizar que cualquier tipo de trabajo que se realice en el interior del aerogenerador se harán en unas condiciones mínimas de seguridad adecuadas en lo que se refiere a la iluminación.
2. Que las labores de mantenimiento se realicen con los niveles de iluminación adecuados para su correcta ejecución.

### **7.1.2 Referencias y consideraciones generales:**

1. Los sistemas de deben ser funcionales en modo servicio y en modo emergencia.
2. Aplicación de la Norma Europea EN-50308. Aerogeneradores. Medidas de protección. Requisitos para el diseño, la operación y el mantenimiento.
3. Aplicación de la Norma EN 50172. Sistemas de alumbrado de emergencia para rutas de evacuación.
4. Aplicación de la Norma EN 50171. Sistemas de iluminación eléctrica centralizados.
5. Aplicación de la IEC 61400-1:2005/A1:2010 Aerogeneradores.
6. Aplicación de la EN 1838. Iluminación. Alumbrado de emergencia.
7. Principles for the Recurring Periodic Inspection of Wind Turbine Generator Systems, BWE.
8. Principles for condition-based maintenance of wind turbines, BWE
9. G.LLOYD: Guideline for the Certification of Wind Turbines, 11. Periodic Monitoring. 2003
10. Documentación ANFALUM (Asociación Española de Fabricantes de Iluminación

### **7.1.3 Alcance de la inspección.**

El alcance de la inspección debe evaluar el estado general del sistema de iluminación interior y debe incluir todos los daños potenciales que se pueden presentar.

Las características de la inspección dependerá de si el sistema de iluminación:

- Ofrece la información relacionada con su funcionalidad de manera automática o si deben programarse tests de comprobación.
- Se dispone de la información en remoto o se requiere presencia física para hacer lecturas o comprobar funcionamiento.

Los objetivos de la realización de los protocolos de inspección son independientes de los métodos empleados.

Los protocolos de inspección deben garantizar el diagnóstico de la siguiente lista de defectos potenciales:

- Medidas de iluminancia\*:
  - Modo servicio:
    - ✓ Zona de trabajo: nivel mínimo de 50 lux
    - ✓ Zona de paso o evacuación: nivel mínimo 10 lux
  - Modo emergencia:
    - ✓ Zona de trabajo: 10 lux
    - ✓ Zona de paso o evacuación: 10 lux
- Autonomía de la iluminación en modo emergencia
- Daños en las Carcasas/Difusores de las luminarias
- Daños en el anclaje/Fijación de las luminarias
- Descarga/Fallo de carga de baterías en luminarias de emergencia

- Daños en Cableado general de la línea de Iluminación.

Las inspecciones deben garantizar una correcta evaluación del estado y del valor remanente de los activos analizados.

\*Los valores de iluminancia señalados son los valores mínimos de normativa. Algunos fabricantes y propietarios pueden requerir valores por encima de la normativa.

#### **7.1.4 Procedimiento de mantenimiento e inspecciones**

##### **Generalidades**

Inspección automática: comprueba por si misma el correcto funcionamiento del sistema o dispositivo.

Inspección no automática: son aquellos que requieren acciones del operario para la comprobación del correcto funcionamiento.

Registro: deben registrarse los resultados de las inspecciones.

Un mantenimiento regular es esencial. El propietario o explotador del local debe designar una persona competente para realizar la supervisión del sistema. Esta persona debe tener la suficiente autoridad para asegurar la ejecución de todos los trabajos necesarios para mantener la instalación en un estado correcto de funcionamiento.

##### **Periodicidad de la inspección automática**

Cuando se utilizan dispositivos automáticos de ensayo, se debe registrar la información mensualmente.

##### **Periodicidad de la inspección no automática**

Cuando no sean de aplicación reglamentaciones nacionales, se deben aplicar los apartados siguientes.

**Generalidades.** Atendiendo a la posibilidad de que un fallo en la alimentación al alumbrado normal ocurra en el momento de la realización de los ensayos del sistema de alumbrado de emergencia o durante el periodo de recarga que le sigue, los ensayos de larga duración deben realizarse, en la medida de lo posible, antes de periodos de riesgo bajo para permitir la recarga de las baterías.

Alternativamente, se deben tomar medidas temporales adecuadas hasta que se hayan recargado las baterías.

Las inspecciones y ensayos mínimos siguientes deben realizarse en los periodos prescritos en los apartados siguientes. Las autoridades competentes pueden exigir ensayos específicos.

##### **Cada vez que se entra en el aerogenerador.**

Debe realizarse una comprobación del funcionamiento de las luminarias en modo servicio y en modo emergencia. Se tratará de una revisión rápida, consistente en

encender el sistema y simular una caída de red que haga saltar el modo emergencia, de forma que se inspeccione visualmente que las luminarias iluminan en ambos modos o se identifiquen las que no funcionan.

Durante este periodo todas las luminarias y señales deben comprobarse para asegurar que están presentes, están limpias y funcionan correctamente.

Al final de este periodo de ensayo, la alimentación del alumbrado normal debería restablecerse y comprobarse que todos los indicadores o dispositivos indican que la alimentación ha sido reestablecida.

- b) Además de lo indicado en el punto a), para los sistemas con baterías centralizados, deben comprobarse los dispositivos de supervisión del sistema.
- c) Además de lo indicado en el punto a), para los conjuntos generadores, tener en cuenta los requisitos de la Norma ISO 8528-12.

#### **Semestralmente.**

- a) Cada luminaria y señal iluminada internamente debe ensayarse durante toda su autonomía asignada, conforme a la información proporcionada por el fabricante.
- b) La alimentación del alumbrado normal debe restablecerse y se comprobará que todos los indicadores o dispositivos indican que la alimentación normal ha sido reestablecida. Los dispositivos de carga deberían comprobarse para verificar que funcionan correctamente.
- c) La fecha del ensayo y su resultado deberá anotarse en el libro de registro del sistema.
- d) Además, para los conjuntos generadores, tener en cuenta los requisitos de la Norma ISO 8528-12.

El cuadro de la página siguiente es una tabla guía donde se presenta de manera esquemática las inspecciones a realizar. Estas inspecciones suponen un mínimo necesario y podrán verse incrementadas con otras o con mayor periodicidad si se estima necesario.

| Frecuencia | Alcance de la inspección                  | Tipo Inspección                                 | Resultado Inspección                                                                                                                                             | Consecuencia                                                                                                                                                         | Gravedad | Acción recomendada                                                                                                                                                                                       |
|------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cada vez   | Funcionamiento general en modo operación  | Inspección visual                               | No se observa mal funcionamiento aparente de ninguna luminaria                                                                                                   | Se pueden realizar las labores de mantenimiento programadas                                                                                                          |          | Ninguna                                                                                                                                                                                                  |
| Cada vez   |                                           |                                                 | Se observa mal funcionamiento aparente de alguna luminaria                                                                                                       | Es necesario realizar el protocolo de inspección semestral                                                                                                           | Moderada |                                                                                                                                                                                                          |
| Semestral  |                                           |                                                 | Todos los puntos significativos de las superficies de permanencia y trabajo superan el valor de los 50 lux                                                       | Las labores de mantenimiento se realizan en condiciones de iluminación adecuadas                                                                                     |          | Ninguna                                                                                                                                                                                                  |
| Semestral  |                                           |                                                 | Algunos puntos no significativos de las superficies de permanencia y trabajo no superan el valor de los 50 lux pero están por encima de 10 lux                   | Riesgo de que algunas operaciones de mantenimiento no se realicen en las condiciones adecuadas por falta de iluminación                                              | Leve     | Evaluar necesidad de cambio de luminaria en función de la criticidad de las operaciones que se realizan con niveles de luminancia por debajo de 10 lux                                                   |
| Semestral  | Niveles de iluminación en modo operación  | Medición niveles de luminancia con un luxómetro | La mayoría de los puntos significativos de las superficies de permanencia y trabajo presentan unos niveles de luminancia de entre 10 lux y 50 lux                | Las labores de mantenimiento se realizan en condiciones de iluminación NO adecuadas                                                                                  | Moderada | Cambio de luminaria o elemento emisor de luz (tubo fluorescente) para alcanzar el nivel de 50 lux                                                                                                        |
| Semestral  |                                           |                                                 | La mayoría de los puntos significativos de las superficies de permanencia y trabajo presentan unos niveles de luminancia por debajo de 10 lux                    | Las labores de mantenimiento se realizan en condiciones de iluminación NO adecuadas y el lugar de trabajo es inseguro en términos de iluminación para ser evacuado.  | Grave    | Suspender labores de mantenimiento dentro del aerogenerador. Cambiar las luminarias y o elemento emisor de luz (tubo fluorescente) para alcanzar el nivel de 50 lux                                      |
| Cada vez   | Funcionamiento general en modo emergencia | Inspección visual                               | No se observa mal funcionamiento aparente de ninguna luminaria                                                                                                   | Se pueden realizar las labores de mantenimiento programadas                                                                                                          |          | Ninguna                                                                                                                                                                                                  |
| Cada vez   |                                           |                                                 | Se observa mal funcionamiento aparente de alguna luminaria                                                                                                       | Es necesario realizar el protocolo de inspección semestral                                                                                                           | Moderada |                                                                                                                                                                                                          |
| Semestral  |                                           |                                                 | Todos los puntos significativos de las superficies de permanencia y trabajo superan el valor de los 10 lux en modo emergencia                                    | La evacuación del aerogenerador caso de emergencia puede realizar en condiciones adecuadas de iluminación                                                            |          | Ninguna                                                                                                                                                                                                  |
| Semestral  | Niveles de iluminación en modo emergencia | Medición niveles de luminancia con un luxómetro | Algunos puntos no significativos de las superficies de permanencia y trabajo no superan el valor de los 10 lux pero están por encima de 3 lux en modo emergencia | Riesgo de que la evacuación en condiciones de emergencia no se realice con unos niveles de iluminación adecuados en ciertos puntos creando riesgos adicionales       | Moderada | Suspender labores de mantenimiento dentro del aerogenerador. Evaluar necesidad de cambio de luminaria en función de la criticidad de los puntos que ofrezcan niveles de iluminación por debajo de 10 lux |
| Semestral  |                                           |                                                 | La mayoría de los puntos significativos de las superficies de permanencia y trabajo presentan unos niveles de luminancia por debajo de 10 lux                    | Riesgo grave de que la evacuación en condiciones de emergencia no se realice con unos niveles de iluminación adecuados en ciertos puntos creando riesgos adicionales | Grave    | Suspender labores de mantenimiento dentro del aerogenerador. Cambiar las luminarias y/o baterías para superar el nivel de luminancia de referencia en condiciones de emergencia: 10 lux                  |

### **7.1.5 Registros e informes de los sistemas de alumbrado de seguridad**

#### **Generalidades**

Después de la realización de los trabajos, se deben suministrar y guardar en los locales planos de la instalación de alumbrado de seguridad. Los planos deben realizarse de acuerdo con el apartado 514.5.1 del Documento de Armonización HD 384.5. En particular, deben identificar todas las luminarias y los componentes principales y deben actualizarse con cada cambio significativo en la instalación. Dichos planos deben estar firmados por una persona competente para realizar la verificación de que el diseño se ha realizado conforme a los requisitos de esta norma.

Además, se debe suministrar un libro de registro conforme al apartado 4.3.3 en el que se incluirá la información relacionada con las inspecciones rutinarias, los ensayos, los defectos y las alteraciones de la instalación.

Dichos registros deben estar disponibles, o bien mediante anotaciones manuales o bien mediante la impresión de una copia obtenida de un sistema automático de prueba.

#### **Registro del sistema**

Tras la realización de la inspección anual y de un conjunto de ensayos, tal como está previsto en las inspecciones periódicas, se debería dar a la persona responsable del local un certificado de inspección y de ensayos.

#### **Libro de registro (informes)**

En los locales y al cuidado de la persona responsable designada por el propietario o explotador del local, debe existir un libro de registro disponible para inspección de toda persona debidamente autorizada.

# Registro Inspección Sistema Iluminación Aerogenerador

[illegible]

El libro de registro debe incluir al menos, la siguiente información:

- a) fecha de recepción del sistema así como las certificaciones relativas a las modificaciones.
- b) fecha de cada una de las inspecciones periódicas y ensayos.
- c) fecha y breve descripción de cada una de las intervenciones, inspecciones y ensayos realizados.
- d) fecha y breve descripción de los defectos y acciones correctoras realizadas.
- e) fecha y breve descripción de cualquier modificación realizada en la instalación del alumbrado de emergencia.
- f) si se utiliza un dispositivo automático de ensayo, las características principales y la descripción del modo de funcionamiento de dicho dispositivo.

NOTA 1 - El libro de registro también podrá incluir páginas relacionadas con otros registros de seguridad, como por ejemplo, alarmas de incendio.

Los detalles relacionados con la sustitución de los componentes de las luminarias tales como el tipo de lámpara, baterías y fusibles, también podrán incluirse en el libro de registro.

NOTA 2 - La impresión informática de los datos de un sistema automático de ensayo puede cumplir este apartado.

#### **7.1.6 Requisitos para la inspección**

La empresa mantenedora debe garantizar la posesión, lectura y comprensión de:

- Documentación del parque eólico.
- Permisos necesarios para la inspección.
- Planes de seguridad y salud.
- Medidas de prevención de riesgos específicas.
- Historial de mantenimiento - Documentación
- Manual de instrucciones del fabricante
- Informes sobre todas las inspecciones técnicas anteriores.
- Otros registros adecuados
- Contrato de mantenimiento
- Mantenimientos preventivos realizados, su frecuencia y alcance.
- Resultados de los Check-list seguidos

La formación recomendada para las inspecciones se desglosa en una parte común, general a cualquier técnica empleada, y una parte específica enfocada a las particularidades de cada una de ellas.

A continuación se resume:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Formación común</b><br><b>RD 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. BOE nº 148 21/06/2001</b>                                                                                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- GWO</li> <li>- Formación específica de riesgos en aerogenerador a inspeccionar</li> <li>- Formación técnica específica de parada de máquina, bloqueo y operación del modelo de aerogenerador a inspeccionar (puede obviarse si las tareas de operación del aerogenerador las realiza un tercero acreditado).</li> <li>- Extinción de incendios y Primeros Auxilios.</li> </ul> |

| Formación específica |                           |                                 |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                      | Ascensores. Uso y manejo. | Escalera. Rescate y evacuación. |

La experiencia mínima para realizar cualquier tipo de inspección de forma autónoma se establece en 6 meses.

### 7.1.7 Informe de inspección

Debe contener la siguiente información:

#### Datos generales:

- a. País/Región.
- b. Parque eólico.
- c. Modelo de aerogenerador.
- d. Número de aerogeneradores del parque y potencia total (MW).
- e. Fecha de puesta en marcha del parque eólico.

#### Inspección:

- f. La fecha
- g. Número de inspección único.
- h. Número de aerogenerador y palas inspeccionadas.
- i. Posibles desviaciones de alcance sobre los requisitos iniciales.
- j. Indicación de la próxima fecha de inspección (si procede).

#### Responsabilidades:

- k. Responsable de los trabajos por parte del cliente.
- l. Seguimiento de revisiones, con los nombres del redactor/a del informe, un/a revisor/a y finalmente la/s persona/s que lo aprueba, incluyendo las fechas.
- m. Técnicos/as que hacen la inspección.
- n. Acreditación de la formación de los técnicos/as que hacen la inspección.
- o. Datos de contacto.

#### Desarrollo del informe:

- p. Listado de material/herramientas utilizadas y certificados de calibración en su caso.
- q. Resumen individual de daños. Con localización, catalogación y clasificación según severidad. Por ejemplo:

- i. Clasificación por categorías según severidad:

| Categoría de daño | Prioridad de actuación |
|-------------------|------------------------|
| 1. LEVE           | 0 - Ninguna            |
| 2. MODERADO       | 2 – Media              |
| 3. GRAVE          | 3 – Alta               |

- r. Reportaje fotográfico de daños. Fotografías de conjunto y de detalle por defecto encontrado.
- s. Criterios aplicados para la catalogación de daños.
- t. Comentarios y las anomalías descubiertas.
- u. Resumen de los resultados. Conclusiones
- v. Indicación de la próxima fecha de inspección

**Medidas correctoras y propuestas de mejora generales. Diagnóstico final. Resultados de la inspección.**

Por ejemplo:

- i. No se han encontrado daños que supongan un riesgo para el trabajo diario y evacuación en caso de emergencia.
- ii. Se han encontrado daños en la inspección:
  - 1. El aerogenerador/parque puede seguir funcionando siempre que se establezcan medidas correctivas y plazos de solución.

## **7.2. Subestación y Líneas de Alta Tensión.**

Las inspecciones en subestaciones y LATs están reguladas por el RD 3275/1982 y se deben realizar, al menos cada 3 años de manera obligatoria.

EL objetivo de estas inspecciones reglamentarias es proteger las personas y la integridad y funcionalidad de los bienes que pueden resultar afectados por las mismas instalaciones y conseguir la necesaria regularidad en los suministros de energía eléctrica.

Las inspecciones periódicas deben ser realizadas por las Direcciones Provinciales del Ministerio de Industria y Energía, o en su caso por los Organos competentes de las comunidades autónomas o bien por entidades colaboradoras del Ministerio de Industria y Energía facultadas para la aplicación de la Reglamentación Eléctrica.

Desde el punto de vista del promotor, estas inspecciones debieran ser suficientes para garantizar el perfecto estado de estos activos combinados con un buen plan de mantenimiento anual, cuyo alcance queda fuera de este documento.

Adicionalmente, a las inspecciones reglamentarias es recomendable una inspección visual periódica de la Línea de Alta Tensión con objeto de comprobar que no existen fenómenos que puedan poner en riesgo su integridad o provocar interferencias con las líneas :

- Control del crecimiento de la vegetación con objeto de organizar los desbroces y podas necesarias para evitar el contacto de ramas con los hilos conductores.
- Control de fenómenos erosivos que puedan poner en peligro la integridad estructural de los apoyos.

No se recomiendan inspecciones de las líneas subterráneas ya que los procedimientos de inspección tienen el riesgo de degradar la instalación.



Apoyo LAT en riesgo de colapso por fenómenos erosivos

### 7.2.1. Implicaciones y responsabilidades.

| Propietarios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Administración                                                                                | OCAs                                                                | Bancos y entidades financieras                                            | Cía. De seguros                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Garantizar la seguridad y el adecuado estado de los activos.</li> <li>Cumplir con la normativa vigente</li> <li>Deben permitir el acceso a las instalaciones y suministrar la información requerida</li> <li>Analizar las conclusiones del informe y tomar las acciones correctoras necesarias.</li> </ul> | Definir los requerimientos y alcance de inspección y vigilar el cumplimiento de la normativa. | Deberán de realizar las inspecciones de garantía de manera objetiva | El informe debe servirle para la detección de futuros riesgos operativos. | El informe debe servirle para la determinación de riesgos. |

### 7.2.2. Periodicidad de las inspecciones y flota a inspeccionar

La periodicidad máxima de la inspección reglamentaria es trianual y afectaría a subestaciones y LATs cuya titularidad sea del promotor.

Las inspecciones complementarias de la Línea de Alta Tensión es recomendable realizarla anualmente.



**Poda de árboles para evitar contacto de las ramas con la LAT.**

### 7.2.3. Alcance de la inspección.

Durante los trabajos de verificación reglamentaria se deberán comprobar los siguientes puntos:

**Documentación:** Comprobación de los documentos reglamentarios

**Transformadores:** Comprobación de niveles y pérdidas, anclaje de las máquinas y estado general. Observar Silicagel.

**Aparamenta:** Comprobar niveles aceite y presión de SF6, existencia protección sobretensiones. Comprobar correcto funcionamiento detectores de tensión e indicadores de abierto/cerrado en interruptores.

**Embarrado, Conexiones y Canalizaciones:** comprobar circuitos, canalizaciones, estado conexiones y detección de señales de calentamiento. Comprobación de distancias y secciones superiores a las admisibles

**Recintos Exteriores y Locales:** Comprobar estado de los accesos y elementos de cierre exterior, condiciones del terreno y pavimentos del parque, drenajes y fosos de recogida de aceites, canalizaciones y galerías de conductores. Observar existencia de humedades en los edificios. Comprobar correcta iluminación interior y exterior funcionamiento del alumbrado de emergencia. Observar existencia de letreros indicadores y estado de elementos de protección. Comprobar dimensiones en pasillos de maniobra y distancias reglamentarias elementos en

tensión no protegidos. Oxidaciones. Comprobar existencia de sistemas de protección contra incendios

**Puestas a Tierra:** Comprobación estado de conductores y conexiones de puesta a tierra de protección. Comprobar la conexión a tierra. Medir la resistencia de la puesta a tierra y las tensiones de paso y de contacto según instrucción MIE-RAT 13 del vigente Reglamento según R.D. 3275/1982,

#### 7.2.4. Requisitos previos a la inspección

- Documentación del parque eólico.
- Permisos necesarios para la inspección.
- Planes de seguridad y salud.
- Medidas de prevención de riesgos específicas.
- Información de los fabricantes de equipos
- Informes de inspecciones anteriores.



#### 7.2.5. Informe de inspección.

El informe de inspección deberá incluir al menos los siguientes datos :

Datos del activo

##### Parque eólico.

- Fecha de puesta en marcha del parque eólico.
- Potencia total (MW).
- Localización.
- Características equipos principales.

##### Inspección:

- Fecha de la inspección.
- Indicación de la próxima fecha de inspección (si procede).
- Responsable de los trabajos por parte del cliente.
- Personal que realiza la inspección

**Responsabilidades:**

- Acreditación de la formación de los técnicos/as que hacen la inspección.
- Seguimiento de revisiones, con los nombres del redactor/a del informe, un/a revisor/a y finalmente la/s persona/s que lo aprueba, incluyendo las fechas.
- Datos de contacto.

**Desarrollo del informe**

- Listado de material/herramientas utilizadas y certificados de calibración en su caso.
- Listado de Defectos
- Medidas necesarias para la resolución de Defectos

**Diagnóstico final**

Se deberá entregar un Certificado de Inspección Reglamentaria debidamente cumplimentado y firmado, con los siguientes Anexos:

- Certificado de Tierras y Tensiones de Paso y Contacto
- Croquis
- Características Técnicas
- Relación de no conformidades

**7.2.6. Formación/conocimientos/experiencia/acreditaciones requeridos por el inspector**

La inspección reglamentaria debe realizarse por ley por un Organismo de Control Autorizado (OCA).

### 7.3. Convertidor

El mantenimiento se focalizará en las distintas etapas que componen el convertidor, sin obviar componentes externos que inciden directamente en el funcionamiento del convertidor, su malfuncionamiento puede causar graves daños en el convertidor, por ejemplo, contactor de estator y su maniobra, interruptor automático, rotor generador, y fuente de alimentación auxiliar 230V UPS.

Cada mantenimiento preventivo será registrado anotando las actividades realizadas, las anomalías detectadas y como se han corregido. Cada documento será archivado para posteriores análisis.

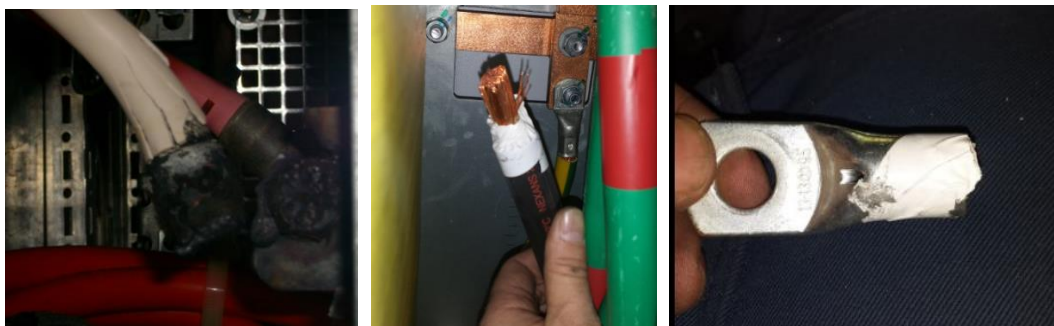
#### 7.3.1. Componentes internos del convertidor.

Se presenta a continuación el mantenimiento para las diferentes componentes del convertidor.

##### 7.3.1.1. Cables de potencia.

Conexiones de potencia compuesto por cables en los que transitan grandes intensidades, entrada y salida del convertidor, y su salida a rotor, conectados con prensa terminales, cuyo orificio pasa el tornillo que lo unirá al terminal.

- Comprobar que el cable no haya resbalado de su prensa terminal, suele ocurrir en cables cortos y tensos, provocando tirones que facilitan que el cobre resbale y casi se suelte. En caso de detectarse puede que tengamos de cambiar los cables afectados por unos más largos bien enrutados, evitando mantenerlos tensos.
- Un mal apriete en el prensa-terminal, durante el paso del tiempo y vibraciones puede hasta soltar el cable.
- Comprobar ausencia de coloración negruzca debida a calentamiento por mal contacto, unión cable, puntera, terminal.
- Comprobar apriete tornillo con el terminal, observando la recomendación [Nm] propuesta por el fabricante.



Cables montados sobre reactancias. Principalmente es la reactancia de entrada, 'Main Choke', y las reactancias de salida corriente a rotor,  $dv/dt$ .



### 7.3.1.2. Conexiones en pletinas de potencia.

Revisar los aprietes de todos los tornillos que componen las conexiones de potencia, es importante evitar conexiones flojas, debido a las altas intensidades se alcanzan altas temperaturas en el contacto, llegando a derretir el cobre.

Los convertidores ubicados arriba en góndola son los más afectados, donde se perciben mayores oscilaciones de torre y vibraciones del generador, creando esfuerzos en las distintas pletinas llegando a aflojarlas.

Se planificará una estrategia adecuada acorde al tipo de convertidor.





### 7.3.2. Capacidades.

Se realiza a continuación un resumen de las capacidades de las diferentes componentes

#### 7.3.2.1. Condensadores bus de continua.

En la mayoría de convertidores no es posible medir las capacidades de los condensadores del bus de continua, DC link. Son muchos condensadores y no son fáciles de aislar para medirlos, por lo que se obvia incluirlo en el plan preventivo. Son reemplazados por correctivo, ya que usualmente se cortocircuitan internamente y revientan, además, al ser de tipo film, son muy seguros y estables a pesar de haber funcionado largos periodos de tiempo.

En cambio, puede realizarse una inspección visual, en busca de posibles daños como roturas, agujeros, o marcas de chispazos, aconsejando medir y sustituir los afectados.

#### 7.3.2.2. Condensadores filtro armónicos.

Debe incluirse la revisión de estos condensadores en el plan preventivo, al estar conectados a la línea de corriente alterna, suelen desgastarse y perder capacidad. Un mal funcionamiento de estos filtros, incrementa el ruido eléctrico notándose en otros componentes como lapsos en comunicaciones. El hierro del generador puede sufrir de componentes armónicas perjudiciales hasta sobrecalentarlo. También puede verse afectado el funcionamiento de IGBTs, al transitar tales componentes.

Para una correcta medida deberá aislarse el condensador, aunque puede medirse un grupo conectado en estrella o triángulo, comprobar la medida teórica esperada, y sea igual en todas las combinaciones posibles.

| Circuito en triángulo de los condensadores<br>$C_{total} = 1,5 \times C_{individual}$ | Circuito en estrella de los condensadores<br>$C_{total} = 0,5 \times C_{individual}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       |                                                                                      |



Se elaborará una estrategia, en función del tipo y potencia del convertidor, cuanto mayor, mayor número de condensadores.

Importante:

Se verificará que el condensador no esté previamente cargado, pueden provocar daño severo por electrocución.

### 7.3.2.3. Inductancias.

La inductancia 'Main Choke', soporta grandes esfuerzos al estar conmutando contra la red de entrada para elevar la tensión DC bus, puede dañarse cortocircuitándose algunas espiras, esto provocaría un sobreesfuerzo en IGBTs para elevar la tensión, además de crear más ruido eléctrico.

Se medirá la inductancia de cada fase, por lo que deberá soltarse al menos una conexión para realizar la medida. Se contrastarán los valores respecto las otras fases, debiendo ser iguales.

### 7.3.2.4. Protecciones de sobre tensión.

Los protectores de sobretensión, actúan durante los periodos de sobretensión, provocando una brusca disminución de su valor óhmico, absorbiendo así la cresta de sobretensión, protegiendo los circuitos que alimenta. Pero esta disminución de su resistencia genera una alta intensidad a través del protector, llegando a fundirlo o dañarlo, en este caso suele activarse una bandera que señala su estado. Hay casos que el dispositivo pueda estar dañado pero no se ha activado la bandera que visualiza, por lo que se recomienda además, realizar una inspección visual a detectar roturas o fogonazos.



#### 7.3.2.5. Descargador condensadores.

Son componentes cuya misión es evitar que los condensadores permanezcan cargados, una vez se ha des-energizado el convertidor. Dando la falsa sensación que estamos con ausencia de tensión, pudiendo provocar un accidente por electrocución, o quemadura por chispazo.

Principalmente afecta a los condensadores de filtros, conectados a tensión alterna. En muchos casos estos elementos son simples resistencias en paralelo con el condensador, pero en otros son reactancias con reluctancia elevada a la frecuencia de red, 50Hz o 60Hz, pero una vez el condensador se queda con su tensión fija, esta reactancia presenta resistencia cero a tensión continua, descargando el condensador.

También se producen disparo de protecciones cuando se reconecta la tensión con condensadores cargados, con un pico de corriente parecido al corto-circuito, la tensión de red no coincide con la tensión del condensador.



#### 7.3.2.6. Crowbar.

La unidad Crowbar, es fundamental para proteger el convertidor frente una súbita subida de tensión proveniente del rotor del generador. Este sistema cortocircuita la conexión del rotor del generador súbitamente, impidiendo que esta sobretensión alcance el convertidor.

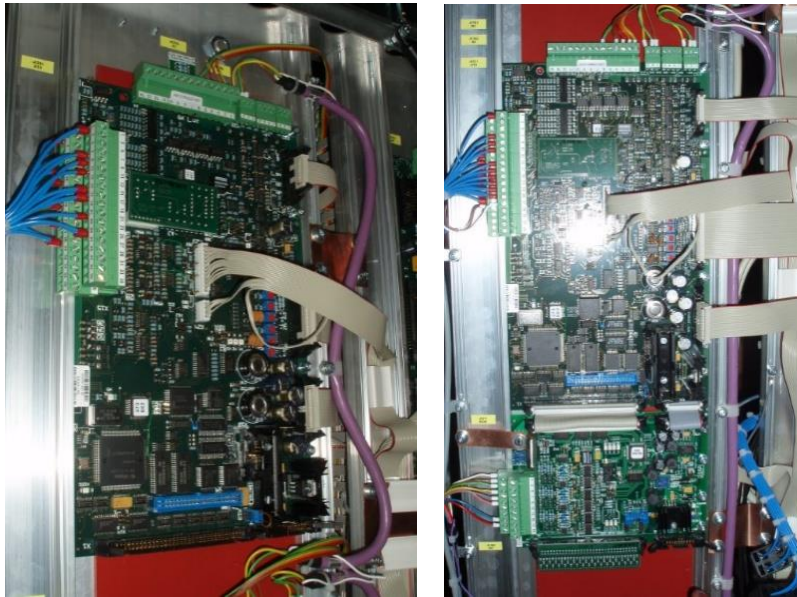
Suele estar compuesto por un juego de Tiristores, con una resistencia donde descargar la gran corriente provocada por el corto, también puede incluir un juego de inductancia para suavizar el alzamiento de la corriente.



Para cada modelo de convertidor el fabricante puede haber desarrollado un método para activar el Crowbar, en modo prueba. Pero siempre habrá una inspección visual, sobretodo de las posibles bobinas choke, ya que suelen detectarse daños visibles. Los tiristores cuando fallan se quedan cortocircuitados, por lo que el convertidor ya estaría en fallo, procediendo a un correctivo.

#### **7.3.2.7. Sistema de control.**

El convertidor lleva dos sistemas de control, placas cpu, una para el control de la corriente del sistema rectificador reversible de entrada, y otra para generar corriente alterna para el rotor. Ambas cpus, conllevan sistemas para medir distintas tensiones y corrientes, así como medir la señal de encoder. Realizar un trigger manual con la convertidor parado, otro estando en marcha, esto nos permitirá evaluar el funcionamiento del sistema de medidas.

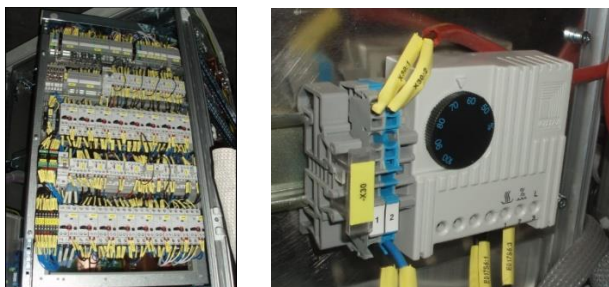


### 7.3.2.8. Sistema auxiliar.

Este sistema suministra alimentación a los distintos sistemas auxiliares como ventiladores, calefacción, protecciones y líneas de seguridad. Es una maniobra compuesta por contactores y magneto-térmicos.

Se inspeccionarán los tarajes de los magneto-térmicos, sean al valor especificado en la tabla del fabricante y de los sensores de humedad y temperatura.

Se revisarán las conexiones, estén correctamente sujetas y apretadas, un mal contacto crea averías difíciles de diagnosticar.



Se verificará el correcto funcionamiento de la línea de seguridad, comprobando como actúa al disparar sus protecciones.



### 7.3.2.9. Sistema refrigeración.

Puede ser refrigeración por aire, o refrigeración líquida, glicol con agua.

#### 7.3.2.9.1. Refrigeración por aire.

- Motores de ventilación.

Comprobamos el estado de los motores de los ventiladores, al actuar en ellos, desde su contactor de maniobra, comprobamos el consumo de intensidad, mediante pinza amperimétrica, caso detectemos un consumo más elevado de lo habitual, puede ser signo de daño en el motor, tanto mecánico, por roce en cojinete, o eléctrico, espiras de bobinas cortocircuitadas, se valorará su sustitución, o reparación en un taller especializado.

En estático se moverá manualmente el eje del motor, y se observará ausencia de roces, o juego.

- Limpieza radiadores.

Se limpiarán las aletas de radiadores, libres de polvo y arena, asegurando un buen intercambio de calor.

#### 7.3.2.9.2. Refrigeración líquida.

- Presión del líquido.

Se verificará la presión de líquido desde el manómetro previsto en la estación de bombeo, si es baja podemos sospechar de posible fuga, o mal funcionamiento del vaso de expansión, rotura e inundación de la bolsa interna, o simplemente pérdida de nitrógeno. Para más detalle, consultar el manual de la estación, vaso expansión.



- Fugas de líquido.

Observar en conectores, racores, óxido o marcas de cal, indicios de posible fuga de fluido, se valorará la sustitución del racor afectado, o montaje, puede que simplemente se haya aflojado. También observar válvulas de sobre presión, o evacuación de aire.

- Conectores rápidos.

Son dispositivos que permiten la desconexión del circuito, sin que se libere fluido. Permitiendo así, la sustitución de componentes sin la necesidad de vaciar el circuito. Estos mecanismos disponen de válvula anti-retorno, mediante un cierre con muelle. Este muelle puede oxidarse, romperse, además el cierre puede ir acumulando partículas, llegando a frenar o taponar el caudal de fluido, con la consiguiente, pérdida de eficacia. Se recomienda desenchufar cada conector y comprobar, ausencia de sedimento, y buen funcionamiento del sistema muelle, cierre anti-retorno, asegurando que el fluido circule con la mínima resistencia. Caso defecto, o exceso de sedimento, se recomienda su sustitución.



- Estado líquido.

Comprobamos el estado del líquido, caso contenga sedimentos, o residuos puede evaluarse la posibilidad de sustituirlo, la circulación de sedimentos puede llegar a taponarse en los conectores rápidos, o estropear la bomba.

Ejemplo de líquido en mal estado.



- Intercambiador de calor.

Comprobamos el sentido de giro del ventilador principal. Se han detectado casos que gira al revés, siendo el caudal de aire menor, produciendo sobre temperatura, haciendo creer que el problema reside en otros componentes.

Comprobar fecha de la última revisión, si se ha retrasado puede tener gran cantidad de sedimento, e ir ensuciando el circuito.



### 7.3.2.10. Componentes externos.

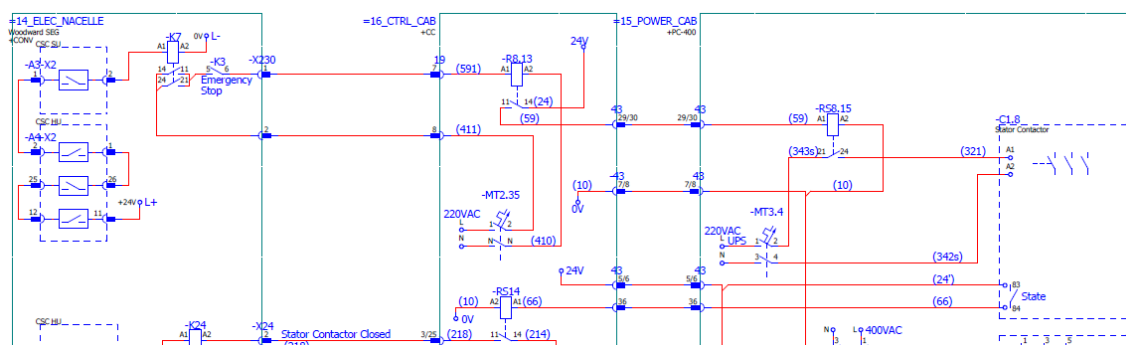
Inciden en el funcionamiento del convertidor y deben ser tomados en cuenta en un preventivo de convertidor.

#### 7.3.2.10.1. Maniobra Contactor estator.

Cierra cuando la onda de tensión generada en el estator es idéntica en amplitud, frecuencia y fase a la de red. Un defecto en el sistema y lo cierra fuera de la condición anterior va a provocar una gran corriente en estator, con altas tensiones inducidas en rotor, sobre todo si el generador está parado, y va a dañar los condensadores del circuito del bus de continua por la gran tensión rectificada por los diodos del circuito IGBTs lado rotor.

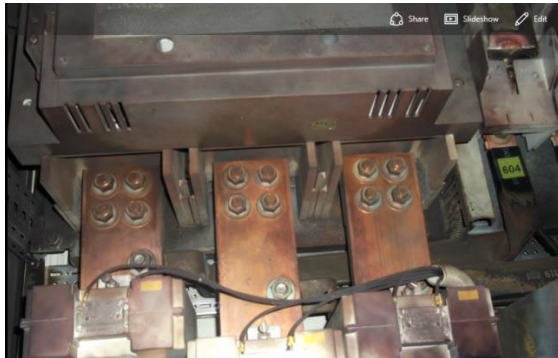
Se revisará el circuito de maniobra del contactor de estator, comprobando los relés auxiliares intermedios que lo accionan. Hay que tener en cuenta que el contactor de estator realiza muchas maniobras, desgastando los componentes de la maniobra intermedia. Se deberá valorar, cuando se precisará cambiar estos relés como preventivo, puede ser cada 4 años.

También se revisarán los relés de reconocimiento, contactor cerrado, ya que también provoca alarmas en convertidor si no recibe el reconocimiento.



Debido al gran número de maniobras que sufre este contactor, y a veces con potencia, caso desconexión del convertidor por fallo, y apertura súbita del contactor. Puede tener las cámaras y sus contactos fogueados, con riesgo a que en siguientes maniobras se queden pegados. Se sustituirán los contactos dañados, y sanearán las cámaras fogueadas.

Contactor fogueado, incluso se ve desde fuera, la salida de la cámara lanza fuego contra los trafos de intensidad, también dañándolos.



### 7.3.2.10.2. Interruptor automático.

Es un componente muy importante de seguridad, ya que protege el aerogenerador de incendio caso se produzca un cortocircuito desde convertidor y/o generador. Por lo que no hay excusa para obviar revisarlo.

Debe ser revisado por un especialista, correctamente entrenado por el fabricante. Comprobará el correcto estado del mecanismo de disparo, tanto mecánico, (muelles y resortes) como eléctrico (bobina de disparo, de mínima, etc...), sustituyendo los componentes que crea oportuno. Marcará con etiqueta la fecha de la revisión, empresa y nombre del técnico, ya que caso accidente por fallo del mecanismo puede reclamarse responsabilidades.

Se respetarán los periodos de revisión que aconseje el fabricante.



Se comprobarán los tarajes y los distintos ajustes, según la tabla prevista facilitada durante la puesta en marcha