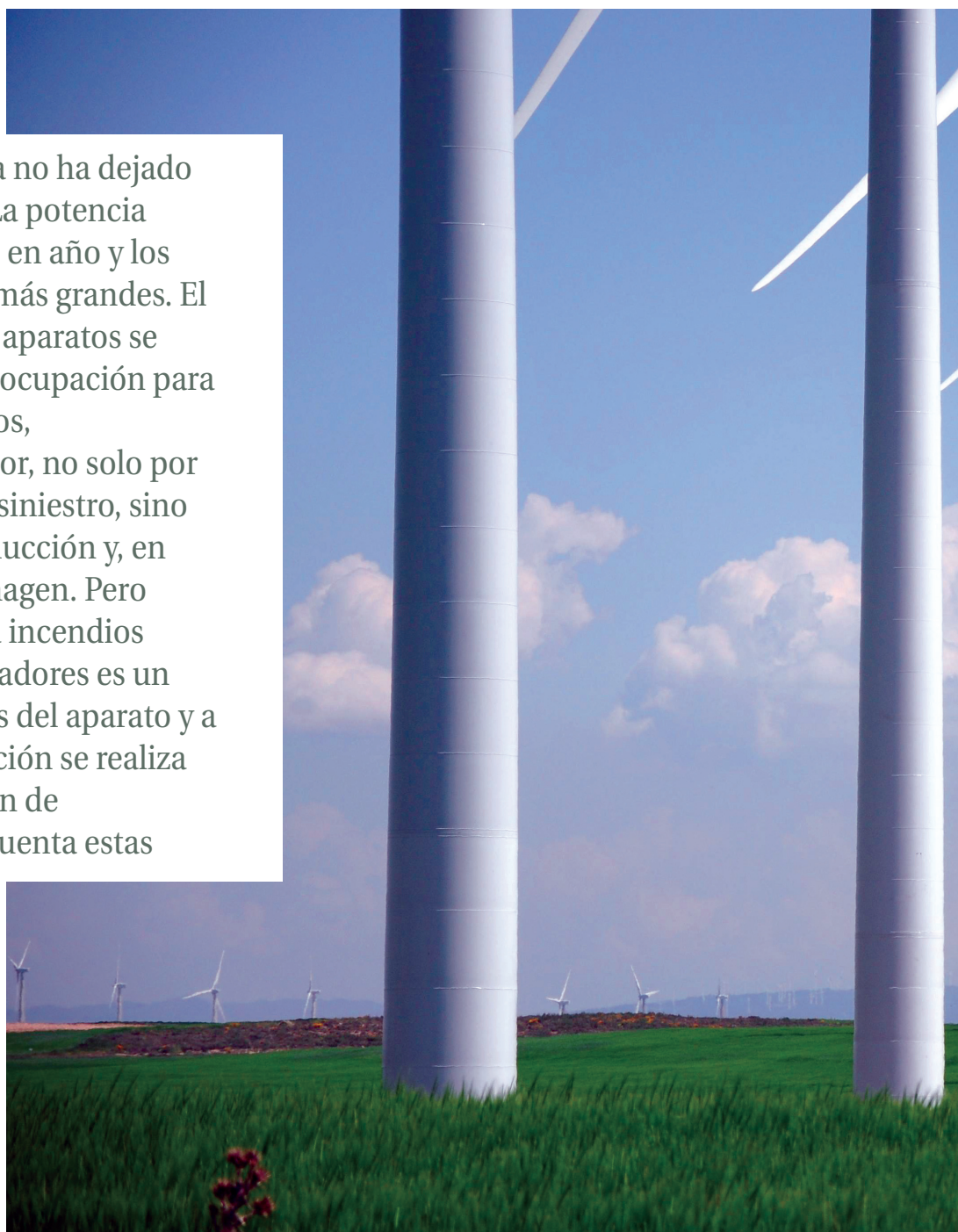


# La protección contra **INCENDIOS** *en aerogeneradores*

La generación energética eólica no ha dejado de crecer en los últimos años. La potencia instalada se incrementa de año en año y los aerogeneradores son cada vez más grandes. El problema de incendio en estos aparatos se empieza a convertir en una preocupación para los diferentes entes involucrados, especialmente para el explotador, no solo por la pérdida directa derivada del siniestro, sino también por la pérdida de producción y, en gran medida, por el daño de imagen. Pero plantear una protección contra incendios eficaz y viable en los aerogeneradores es un reto debido a las peculiaridades del aparato y a su emplazamiento. A continuación se realiza un planteamiento de protección de aerogeneradores teniendo en cuenta estas circunstancias.

Por **J.M. VIDUEIRA**. Ingeniero industrial.  
Director técnico de Servicios Técnicos  
Cepretec S.L. (Grupo Cepreven).  
mvidueira@cepreven.com

**J. RUBIO**. Ingeniero Técnico Obras Públicas.  
Ingeniero *Junior* de Servicios Técnicos  
Cepretec S.L.



El desarrollo y evolución tecnológica mundial han hecho de la energía una necesidad de primer orden, lo que junto a la escasez de combustibles fósiles y la fuerte dependencia de ellos, plantea una nueva estrategia energética mundial. Este aspecto, sumado a la concienciación del cuidado del medio ambiente, hace que las ener-

gías renovables cobren cada vez más importancia como una alternativa real.

El incendio en las plantas y aerogeneradores es un siniestro de baja frecuencia, pero que da lugar a daños irreparables, y de un coste alto por pérdidas de bienes de equipo y ceses de producción prolongados en el tiempo, por lo que las instalaciones deben diseñarse de

modo que garanticen una protección máxima contra este tipo de eventos, una reducción de las pérdidas derivadas de los mismos y una rápida vuelta a la producción, en caso de verse afectada.

La protección contra incendios en estos aparatos, que es una preocupación cada vez mayor fundamentalmente para el explotador y para la compañía aseguradora, no se puede abordar desde una óptica convencional. Cualquier sistema que se implemente debe ajustarse al cumplimiento de los siguientes objetivos:


El **primer objetivo** es la parada segura del aerogenerador ante un conato de incendio, entendiéndose por «parada segura» no solo aquella que puede hacerse de forma progresiva, sin poner en peligro la estabilidad del conjunto, sino también la que se produce de una forma fiable y confiable solo cuando es realmente necesario.

El **segundo objetivo** a conseguir sería la protección eficaz del aerogenerador ante un incendio fortuito producido en la góndola. Entendiéndose en este caso que «eficaz» implica:

- Evitar disparos indebidos del sistema de protección.
- Fiabilidad del sistema de extinción utilizado.

Finalmente, un **tercer objetivo** de la protección es que sea viable, tanto en su instalación inicial como a medio y largo plazo, es decir:

- Que la instalación del sistema no perjudique el mantenimiento o reparación de otros componentes de la góndola.
- Que el sistema sea robusto, esto es, que no sufra un deterioro manifiesto debido a las circunstancias de trabajo del aerogenerador.
- Que el propio sistema de extinción tenga un mantenimiento mínimo.
- Que el coste asociado a la instalación y mantenimiento del sistema sea asumible.



El incendio en las plantas y aerogeneradores es un siniestro de baja frecuencia, pero que da lugar a daños irreparables, y de un coste alto por pérdidas de bienes de equipo y ceses de producción prolongados en el tiempo



Resulta realmente complicado realizar un planteamiento de protección que sea capaz de satisfacer al cien por cien todos los objetivos marcados, pero con un estudio adecuado puede alcanzarse una solución de compromiso. Para ello, en primer lugar ha de conocerse el funcionamiento del aerogenerador, sus puntos críticos en cuanto a la generación de incendio y también aquellos factores inherentes a su construcción, funcionamiento y emplazamiento (*on-shore*, en tierra; *off-shore*, en el mar, cerca de la costa). Todo ello condicionará la solución escogida.

## Características del aerogenerador y principales riesgos

El aerogenerador es un elemento cuya función principal es convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. Tiene tres partes principales: torre, góndola y rotor.

Descartando el rotor, que es el elemento más expuesto a la caída del rayo (causa de la mayoría de incendios en aerogeneradores) y que debe ser convenientemente protegido ante esta circunstancia, es la góndola o nacelle el



**Figura 1.** Componentes principales del aerogenerador.

elemento de mayor relevancia a la hora de considerar la protección contra incendios, ya que actúa como lugar de alojamiento de los sistemas eléctricos y mecánicos citados anteriormente.

Los elementos comunes que podemos identificar en la góndola de un aerogenerador son los siguientes:

**Multiplicadora.** Su función consiste en adaptar la velocidad de giro del rotor, de apenas unas pocas revoluciones por minuto (17-48 rpm), a la elevada velocidad de giro del generador (1.000-1.500 rpm). Esto provoca un rozamiento entre los engranajes de las coronas, produciendo el calentamiento del conjunto y de los elementos colindantes. Hay que tener en cuenta que se requiere una lubricación con aceite en este elemento,

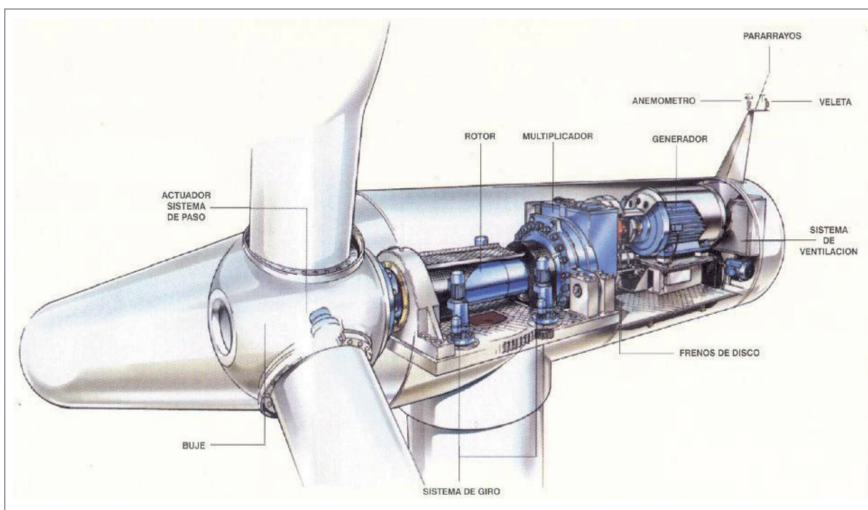
dado que en él se juntan un foco térmico (rozamiento) con un elemento inflamable (aceite), por lo que es uno de los puntos a considerar en la protección.

La multiplicadora suele ir montada sobre elementos amortiguadores elásticos, que minimizan la transmisión de ruidos y vibraciones a la estructura.

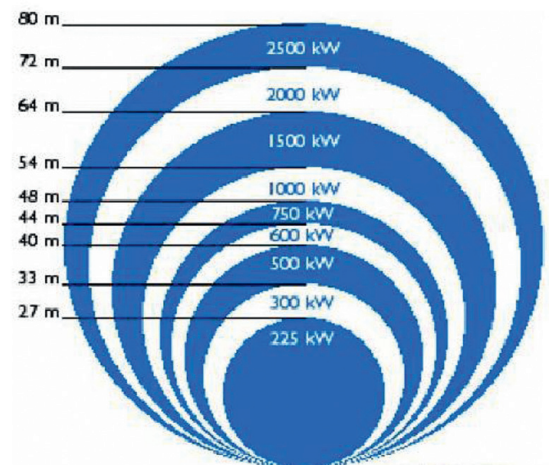
**Generador.** Principal componente en las instalaciones eléctricas de los aerogeneradores. Es el encargado de transformar la energía mecánica del rotor en electricidad.

La alta potencia instalada en los aerogeneradores modernos provoca que el generador eléctrico trabaje a considerables temperaturas, por lo cual es necesario incluir un sistema de refrigeración. Esto se consigue generalmente utilizando aire como fluido de refrigeración, si bien en algunos modelos se emplean refrigerantes líquidos.

Los incendios en los generadores se producen como consecuencia del calentamiento del bobinado, bien por una sobrecarga prolongada, bien por fallo en el sistema de refrigeración. El aceite incrementa su temperatura, aumentando la presión interna hasta el punto de producir su evaporación, provocando un incendio o una explosión del generador.



**Figura 2.** Componentes del aerogenerador.



**Figura 3.** Relación entre potencia del aerogenerador y tamaño de las palas.

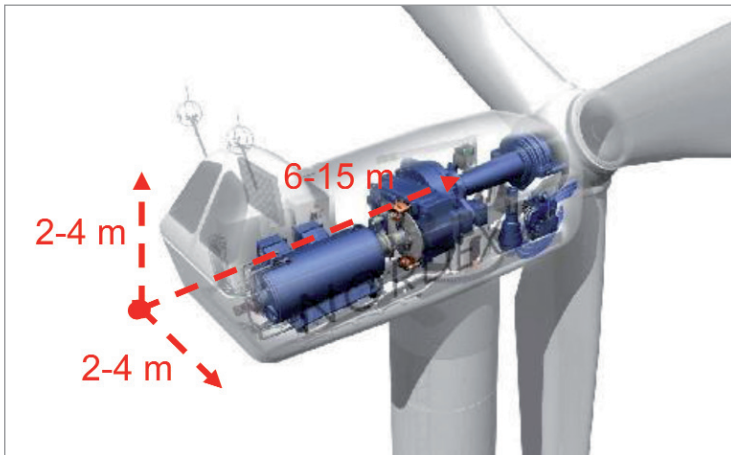


Figura 4. Dimensiones de una góndola.

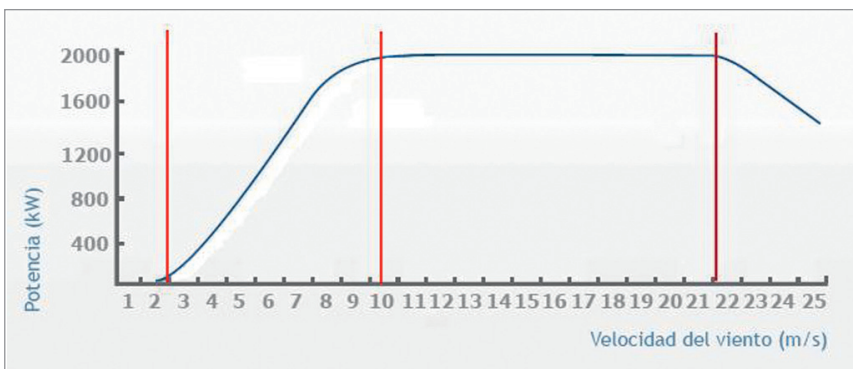


Figura 5. Relación entre velocidad del viento y potencia entregada.

Esta situación se agrava si en el bobinado, al no tener un correcto mantenimiento, existe acumulación de carbonilla, que ante una subida o incluso una temperatura normal de funcionamiento da lugar a una combustión.

Además de los problemas ocasionados en el bobinado, otro foco de incendio se localiza en los puntos de fricción de los elementos rotativos.

**Freno mecánico.** Este sistema desempeña una doble función. Por un lado, debe asegurar la detención total del giro del rotor y que éste permanezca parado (posición de «parking») cuando los operarios lleven a cabo tareas de mantenimiento. Por otro lado, el freno ha de ser capaz de realizar paradas de emergencia en situaciones en las que el aerogenerador se encuentre en peligro.

Esto supone una gran fricción de la zapata con el disco y, consecuentemente, un gran calentamiento, con posible ro-

tura del disco y emisión de material incandescente de la zapata, que puede entrar en contacto con el cerramiento de la góndola y provocar un principio de incendio.

El freno puede ir colocado en el lado del eje lento (que une el rotor a la multiplicadora) o en el lado del eje rápido (el que sale del generador).

**Cuadros de control.** La góndola está provista de cuadros eléctricos de control que gobiernan el funcionamiento del equipo (orientación de la góndola, rotación de las palas, regulación de velocidad, maniobras de enganche y desenganche de la red, ventilación de componentes, etc.).

El foco de incendio en los cuadros eléctricos es originado muchas veces por fallos humanos o falta de mantenimiento, debido a un mal apriete entre uniones, falsos contactos, suciedad, oxidación en la superficie de los elementos o una in-

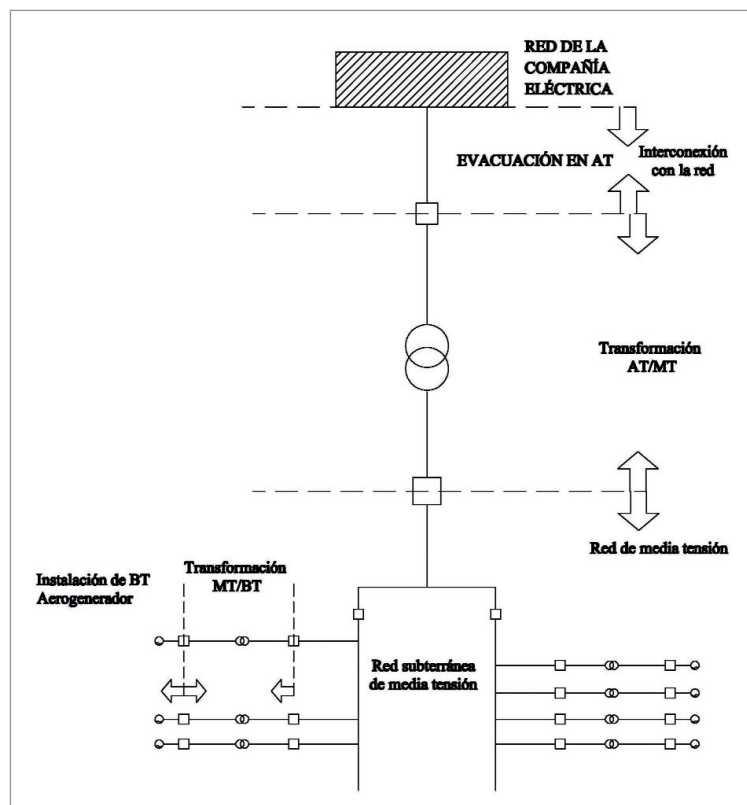


Figura 6. Representación esquemática de la subestación de un parque eólico.



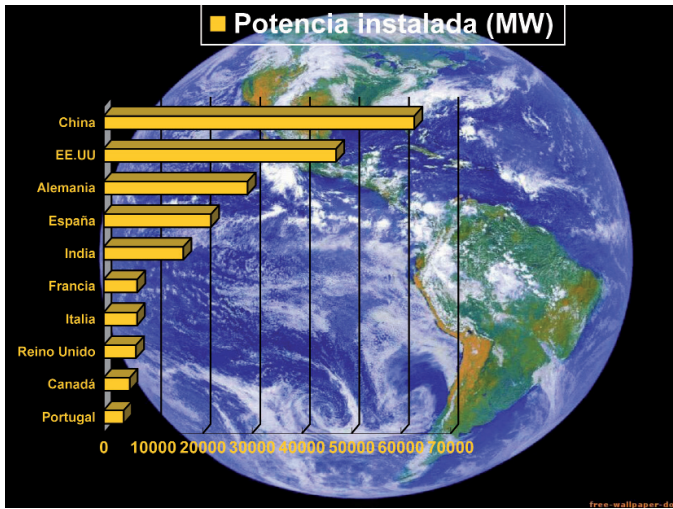


Figura 7. Potencia eólica instalada a finales de 2011 en los 10 países más desarrollados en esta materia.

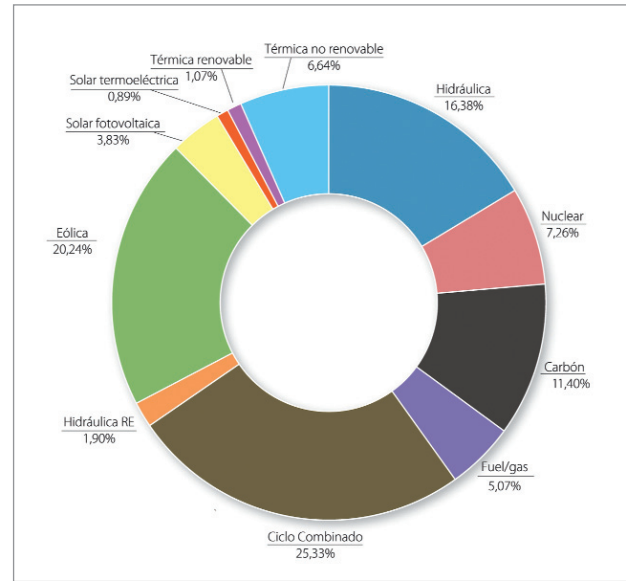


Figura 8. Reparto de la potencia eólica instalada en el sector eléctrico español, según su origen.

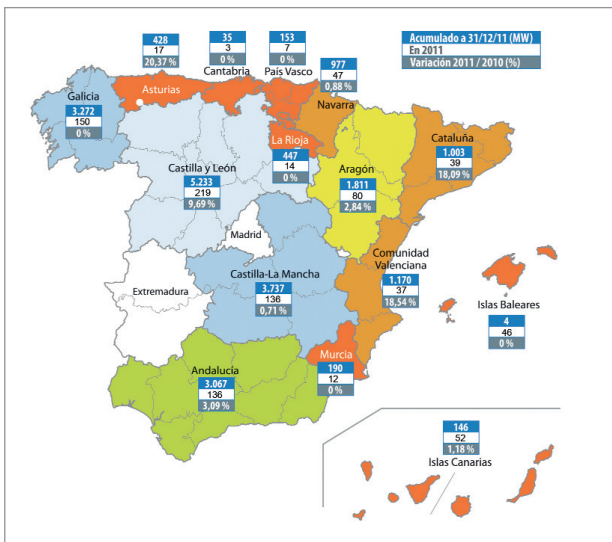


Figura 9. Potencia eólica instalada en 2011 por comunidades autónomas, número de parques y variación respecto a 2010.

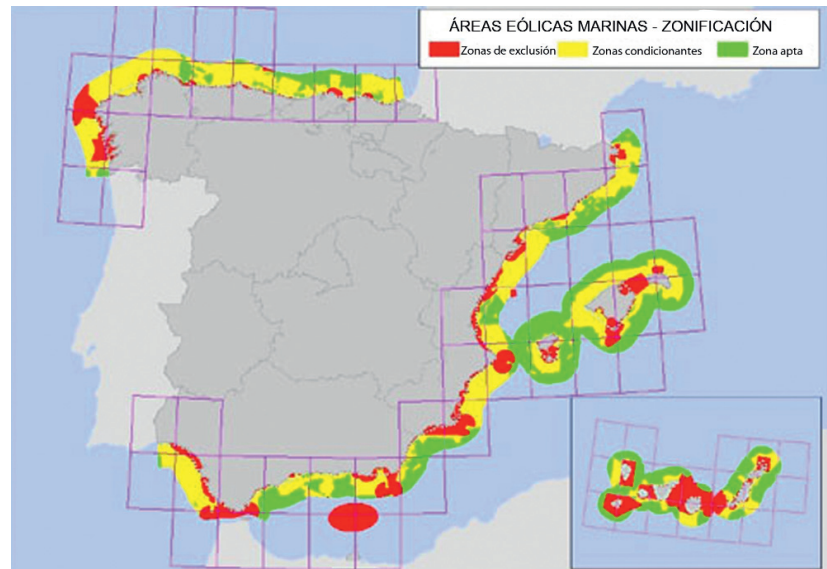


Figura 10. Posibles áreas eólicas marinas en territorio español.

suficiente disipación del calor. Los riesgos más comunes son sobrecalentamiento de circuitos, cortocircuitos, arco eléctrico...

**Transformador.** No es un componente que pertenezca propiamente al aerogenerador. En los primeros aerogeneradores se incluía en la góndola, pero en los más modernos suele estar ubicado en la base.

Este componente se encarga de elevar la tensión hasta valores de entre 20-30 KV para su evacuación a red, reduciendo así las pérdidas óhmicas.

La principal causa de un incendio en el transformador es la formación de un arco eléctrico provocado por un defecto (perforación en los aislantes). En estos elementos pueden producirse averías internas que generen calentamientos o arcos locales. Un arco eléctrico descompone el aceite, dando lugar a la apa-

rición de gases combustibles. Este hecho, unido a las altas temperaturas del aceite y a la mezcla con el oxígeno tras salir el aceite al exterior debido a la perforación, puede generar un incendio.

La problemática de estos posibles puntos de ignición aumenta al tener en cuenta que el cerramiento de la góndola

La protección contra incendios en estos aparatos, que es una preocupación cada vez mayor fundamentalmente para el explotador y para la compañía aseguradora, no se puede abordar desde una óptica convencional

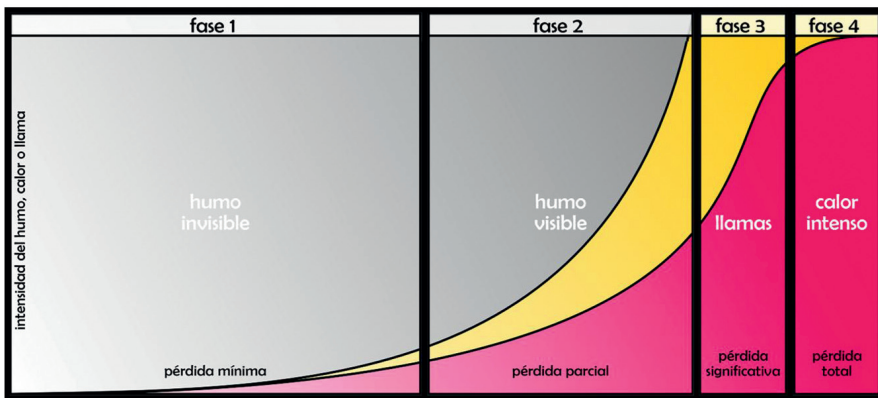


Figura 11. Fases de un incendio típico.

la está realizado en materiales como fibra de vidrio y de carbono, es decir, materiales combustibles con carga de fuego nada desdeñable.

Estos posibles puntos de ignición no son novedosos. En general, se pueden encontrar en muchas actividades industriales, y existen soluciones de protección contra incendios sobradamente probadas tanto para la detección como para la extinción del incendio esperable. En el caso de los aerogeneradores, el problema reside en las peculiaridades del elemento a proteger.

- **Góndola y torres herméticas.** Al contrario que los generadores *on-shore*, que disponen de aberturas en la carcasa de la góndola para ventilación, y cuya conexión entre buje y góndola tampoco es estanca, los generadores *off-shore* requieren de una estanquidad absoluta para prevenir la agresividad del medio marino.
- **Sistemas de deshumidificación.** La humedad ambiental en el emplazamiento de este tipo de aerogeneradores, por razones obvias, mucho mayor que la correspondiente a una locali-

zación *on-shore*. Esto obliga a disponer de sistemas específicos de deshumidificación para minimizar los daños que la oxidación puede causar a equipos y sistemas.

- **Superficies con un acabado especial para evitar la corrosión.** El ambiente salino es sumamente agresivo, lo cual obliga a que los materiales estén especialmente tratados para minimizar su degradación.
- **Transformador y equipo informático dentro de la torre.** Los aerogeneradores *on-shore* siempre presentan la posibilidad de ubicar casetas auxiliares en las que disponer la instalación de determinados equipos. Esto no es posible en los aerogeneradores *off-shore*, por lo que todos estos equipos deben disponerse en la torre.
- Incluir este equipamiento implica realizar otras modificaciones, como son incluir un intercambiador de calor para el aire de refrigeración y una plataforma en la base de la torre donde ubicar el transformador.

## Particularidades de los aerogeneradores *off-shore*

La instalación de un parque eólico marino implica realizar adaptaciones de los aerogeneradores. Por este motivo, los fabricantes optan por crear turbinas específicas para su instalación en el mar. Además, deberán tomarse medidas de protección que implicarán un mayor coste para el promotor.

Principalmente se tendrán que preparar las estructuras para garantizar una protección de la corrosión y la entrada de aire cargado de sal, que puede afectar al equipo eléctrico y al control del sistema. Por este motivo es necesario realizar una inversión adicional en el siguiente equipamiento:

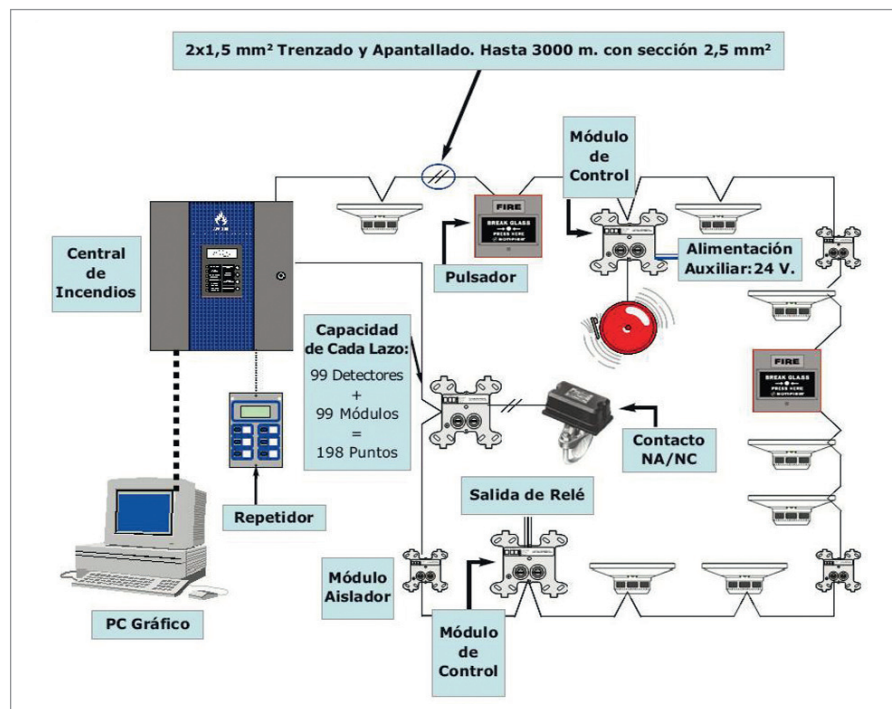


Figura 12. Disposición típica de un sistema de detección analógico.



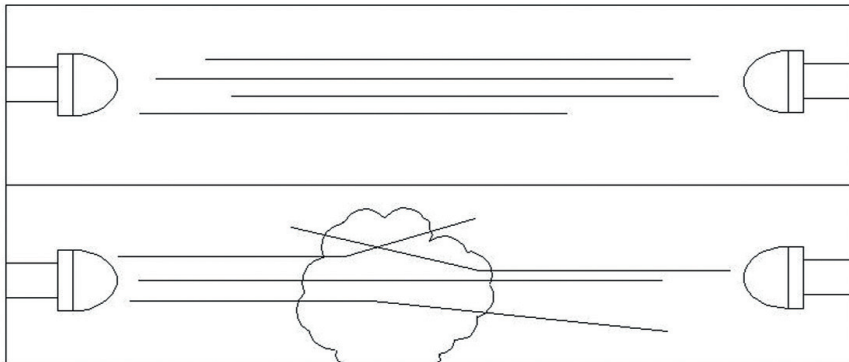


Figura 13. Principio de detección por oscurecimiento.

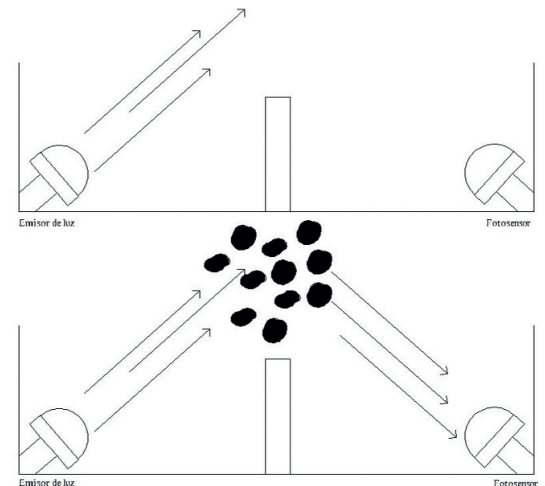


Figura 14. Principio de detección por dispersión de luz.

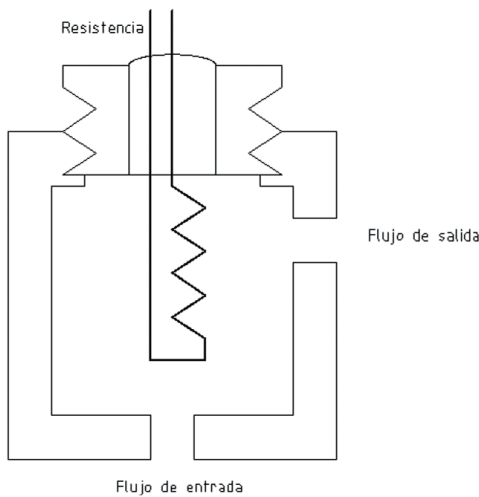


Figura 15. Elemento sensor del detector térmico de elemento fusible.

mendamente las tareas de mantenimiento de los sistemas.

#### Altura de la góndola

La altura de la góndola respecto al suelo puede llegar a alcanzar los 100 metros, en función de la potencia del aerogenerador. Este condicionante supone una gran limitación para muchos de los sistemas de protección contra incendios, bien por imposibilidad de las tecnologías de los propios sistemas, bien por sobredimensionamiento de elementos del funcionamiento del sistema.

Para el posible montaje *in situ*, la altura de la góndola crea muchas dificultades, tanto en el transporte del material como en el montaje.

#### Espacio limitado en la góndola

En el interior de la góndola todo el espacio se encuentra optimizado al máximo por los elementos mecánicos y eléctricos de funcionamiento del propio sistema del aerogenerador, lo cual hace más difícil integrar un sistema de protección contra incendios.

#### Reparto de cargas

Cuando el aerogenerador entra en funcionamiento, produce electricidad aprovechando el movimiento circular de sus aspas, movidas por el viento. An-

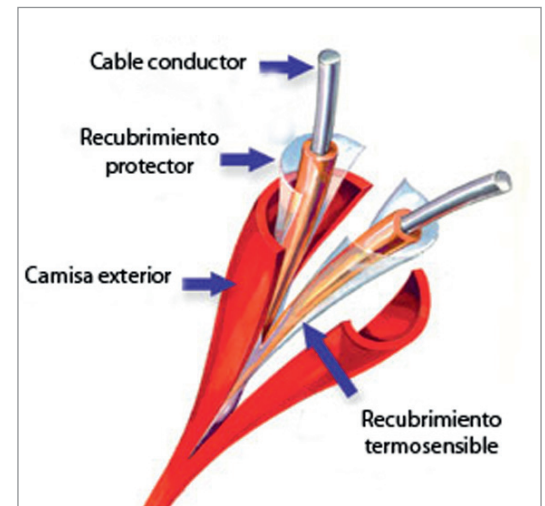


Figura 16. Detector térmico lineal de temperatura fija.

te la fuerza de inercia que produce el rotor sobre el conjunto, el reparto de pesos es crucial para evitar oscilaciones innecesarias, muy perjudiciales para la estabilidad del mismo.

#### Materiales y estructura

La estructura de la góndola se compone del armazón resistente, normalmente de alguna aleación de acero, capaz de resistir las cargas de torsión y flexión propias del funcionamiento. Los paneles de fibra son desmontables y simplemente se utilizan para aligerar el peso del conjunto y protegerlo de la intemperie.

Por lo dicho anteriormente, la ubicación y suportación de los elementos

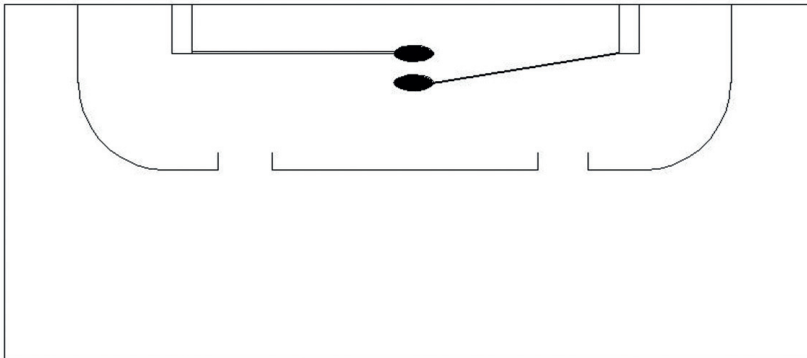
## Condicionantes de la protección de aerogeneradores

Los aerogeneradores presentan diferentes condicionantes para su protección, que se han agrupado en dos tipos: constructivos y de funcionamiento.

### Condicionantes asociados a las características constructivas

#### Accesibilidad limitada a la góndola

La accesibilidad al aerogenerador es muy limitada, especialmente en el medio marino. Esto dificulta la intervención de los bomberos y encarece tre-

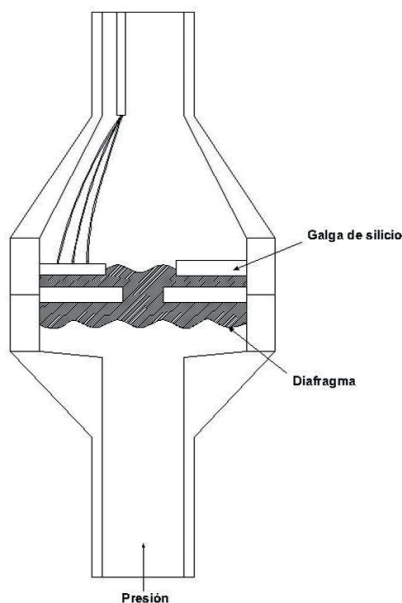


**Figura 17.** Detector térmico bimetálico de temperatura fija.

constituyentes de un sistema de protección contra incendios está muy limitada. La estructura metálica tiene una buena capacidad de suportación, pero no así los paneles de fibra, a los que no se pueden anclar materiales o elementos de peso.

*Accesibilidad nula al rotor*

El diseño y la estructura del rotor implican la imposibilidad de instalar un sistema autónomo de protección, bien en el hueco de la nariz del rotor o dentro de las aspas.



**Figura 18.** Detector térmico termovelocimétrico puntual.

**Condiciones de funcionamiento del aerogenerador**

*Humedad y temperatura*

Las oscilaciones de temperatura en el interior de la góndola son bastante extremas entre el día y la noche y estacionalmente. Además, el propio funcionamiento de los equipos genera un incremento en la temperatura. También pueden variar las condiciones de humedad en el interior, especialmente en los generadores *on-shore*, que no son estancos.

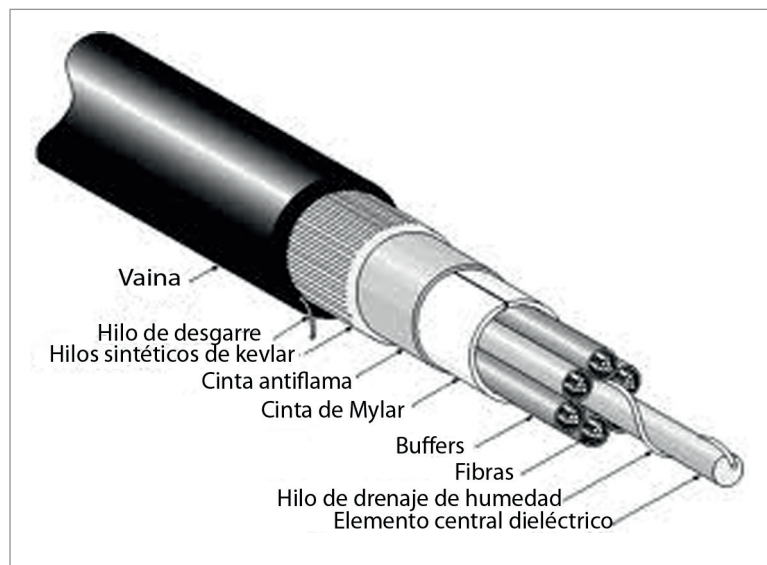
*Falta de estanquidad*

Los aerogeneradores *on-shore* disponen de entrada y salida de aire por el hueco del buje del rotor y pequeñas rejillas en la carcasa de la góndola que hacen que el interior de la góndola esté en contacto con el ambiente exterior. Esto provoca que la suciedad exterior acceda al interior.

Para el caso de los aerogeneradores *off-shore*, no se encontrará tal ambiente como en el caso de los aerogeneradores *on-shore*, ya que la carcasa de la góndola es hermética, para garantizar una protección ante la corrosión del ambiente marino.

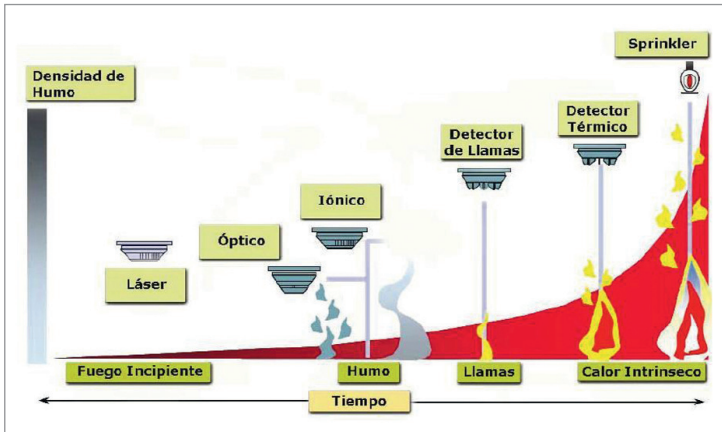
*Suciedad*

Además del polvo, existe otro efecto a considerar. Ante el rozamiento físico, interno y externo de las piezas o entre distintos equipos que estén en contacto, es necesario una lubricación de los mismos. Los aceites y grasas son los principales agentes lubricantes que se utilizan para estas tareas. Ante un uso continuado, las piezas con rozamientos crean desgastes, produciendo holguras por donde una cantidad de aceite rezuma,

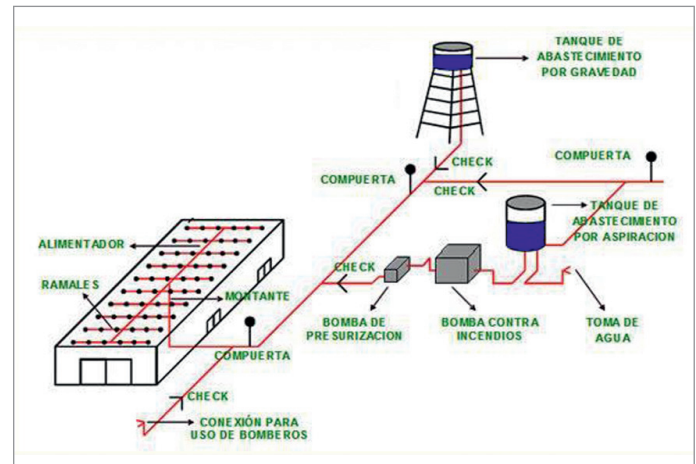


**Figura 19.** Cable detector térmico de fibra óptica.





**Figura 20.** Selección de la tecnología de detección en función de la magnitud a medir.



**Figura 21.** Red tipo con dos tipologías de abastecimiento de agua.

llegando incluso a gotear, bien al suelo o recubriendo elementos. Si este aceite gotea hacia los ejes, tanto lenta como rápidamente, debido a la velocidad angular que alcanzan, puede ser esparcido hacia las zonas más próximas.

### Vibraciones

En funcionamiento normal, el aerogenerador está sometido a importantes esfuerzos que se traducen en constantes vibraciones que afectan a todo el conjunto. Esto a la postre acaba afectando y deteriorando la sujeción de los sistemas, las uniones entre tuberías, etc., creando holguras entre piezas en contacto o rotura de los elementos por fatiga del material.

### Movimiento de la góndola respecto a la base

Para aprovechar las diferentes direcciones de los vientos que recibe el aerogenerador, la góndola gira con ayuda de un motor que transmite el movimiento a la corona, que a su vez permite la rotación de esta respecto a la fijación de la torre.

Este giro de la góndola respecto a la base complica el diseño de cualquier sistema de protección contra incendios que inicialmente esté proyectado con el paso de elementos de la torre al interior de la góndola.

### Movimiento del rotor respecto a la góndola

El constante giro del rotor con respecto a la góndola imposibilita cualquier implantación de sistema de protección contra incendios que vincule de forma física ambas partes.

## Evaluación de los sistemas de detección automática

Se evalúa seguidamente la instalación de detectores de humos, detectores térmicos y detectores de llama.

### Detección de humos

#### Detectores ópticos puntuales

Estos detectores son muy sensibles al polvo y la suciedad. Esto es un problema en los generadores *on-shore*, ya que, debido a su ubicación en tierra y a las corrientes de aire que se generan en su interior, son propensos a la acumulación de polvo en la cámara sensora. Además, estas mismas corrientes, en caso de incendio, van a disipar el humo, retrasando su concentración en torno al detector y, en consecuencia, a la alarma.

Sin embargo, pueden ser una buena opción en los generadores *off-shore*, que

por sus características de estanquidad no van a tener estos problemas (aparte de que la concentración de polvo en el medio marino es notablemente inferior que en tierra).

La instalación de estos detectores en el interior de equipos con un cierto nivel de estanquidad (para detección local) puede arrojar un buen resultado.

Los equipos deben estar conectados a una central de detección, que podría ubicarse en la base de la torre. Sin embargo, el mantenimiento de los equipos, que sería bastante habitual en los de tipo *on-shore* debido a los problemas de limpieza mencionados, requeriría el acceso a la góndola.

#### Detectores lineales

Por causa de las vibraciones y dilataciones diferenciales en la góndola, son susceptibles de dar falsas alarmas. Además, en el medio *on-shore*, ante un incendio, tendrían el mismo problema que los detectores puntuales: el retraso en la formación de una capa de humo de densidad suficiente para dar lugar a la detección.

#### Detectores de aspiración ópticos

Esta tecnología no deja de ser un tipo de detector puntual al que se hace llegar de forma permanente una muestra



Resulta realmente complicado realizar un planteamiento de protección que sea capaz de satisfacer al cien por cien todos los objetivos marcados, pero con un estudio adecuado puede alcanzarse una solución de compromiso

de aire para su sondeo. Pero frente a la detección puntual, tiene varias ventajas para su aplicación en aerogeneradores:

- Al hacer llegar la muestra de aire hasta el detector, su actuación es más rápida, permitiendo una detección incipiente.

- Al igual que los detectores puntuales, puede discriminar entre diferentes niveles de oscurecimiento, permitiendo fijar un umbral de pre-alarma (parada del aerogenerador) y un umbral de alarma (disparo de la extinción).

- Frente al problema de la falta de limpieza en el ambiente (por presencia de polvo), el sistema prevé la instalación de filtros en el recorrido de tubería. Existen detectores de aspiración ópticos de doble visión que ya son capaces de discriminar por sí mismos las partículas de polvo de las de humo mediante la combinación de dos fuentes de luz: láser infrarrojo y led azul.
- Los puntos de aspiración se sitúan en la góndola, mientras que el detector se puede situar en la base de la torre. Esto es posible ya que estos sistemas admiten hasta 120 metros de recorrido de *tubing* de aspiración. Disponer el detector en la base del aerogenerador facilita las tareas de mantenimiento.

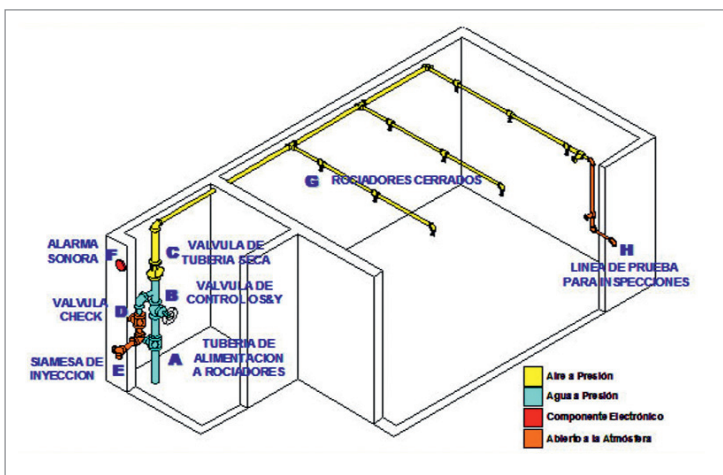


Figura 22. Sistema de rociadores de tubería seca.

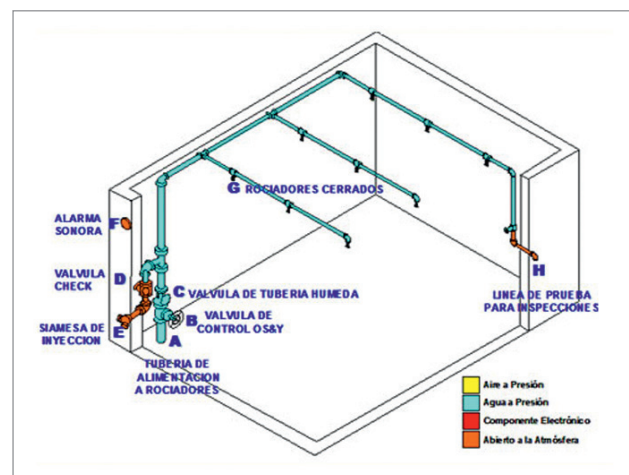


Figura 23. Sistema de rociadores de tubería húmeda.



## Detección térmica

Se evalúa a continuación la posible aplicación de detectores térmicos en aerogeneradores:

### *Detectores térmicos estáticos*

Son detectores robustos frente a la existencia de polvo y suciedad, y de bajo mantenimiento. Pero por su principio de funcionamiento, son incapaces de realizar una detección precoz de incendio. Por tanto, son una buena opción desde el punto de vista de la fiabilidad, pero menos adecuados que los detectores de humos en cuanto a precocidad.

### *Detectores térmicos termovelocimétricos*

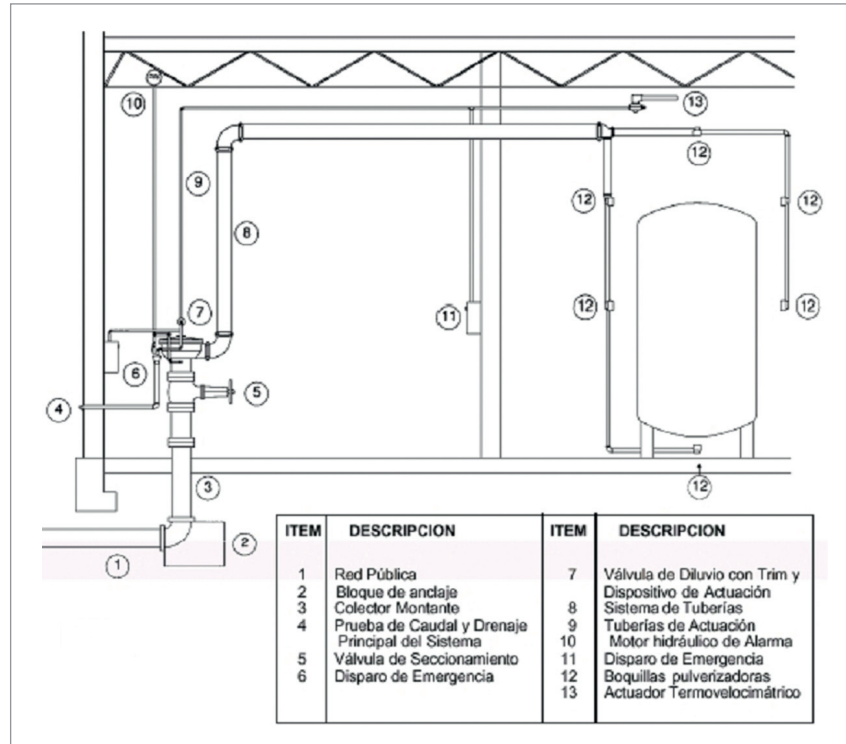
De igual robustez que los anteriores, dan lugar a una detección algo más rápida, al basarse en el principio de incremento de temperatura en el tiempo.

### *Detectores térmicos continuos*

Desde la tecnología más sencilla (un cable que se cortocircuita a una determinada temperatura) hasta la más compleja (detección por fibra óptica), el principio de funcionamiento no cambia, y la necesidad de fijar unos valores umbral de temperatura fija o de incremento de temperatura tienen el inconveniente del retardo en la detección.

## Detección de llama

La detección de llama tiene un inconveniente fundamental para su aplicación en aerogeneradores: para su activación, necesita contacto visual directo con la llama. Esto implica que debe instalarse un gran número de detectores en un espacio muy reducido para cubrir perfectamente todos los ángulos y zonas muertas. Por su principio de funcionamiento, no actúan hasta que el incendio se ha desarrollado con llama, es decir, en una fase avanzada del mismo.



**Figura 24.** Esquema de sistema de agua pulverizada.

## Evaluación de los sistemas de extinción automática

Se evalúan los sistemas de extinción por agua, por gas, por agentes químicos y por aerosoles.

### Extinción por agua

#### *Rociadores, pulverizadores abiertos, agua-espuma*

Los sistemas de extinción por agua tienen un inconveniente fundamental para su instalación en aerogeneradores: la necesidad de un abastecimiento de agua. Esto implica la necesidad de un depósito de agua y un grupo de presión. En principio, dado el reducido espacio disponible en la góndola, estos equipos no se pueden instalar en ella. Tampoco en la base, por el mismo motivo. Por consiguiente, sería necesario disponer estos equipos en una construcción específica en algún punto del parque eólico, y hacer llegar el agua hasta la góndola, con la dificultad que ello supone. Hay que tener en cuenta que so-

lo por diferencia de cotas pueden perderse entre 6 y 10 bar de presión, dependiendo del modelo a proteger. Y además existe el hándicap de salvar la rotación de la góndola respecto de la base. Esto se puede lograr mediante una rótula, que no deja de ser un punto débil a medio plazo en el conjunto del sistema.

Son sistemas que requieren de un mantenimiento importante, no tanto en los elementos de descarga como en el abastecimiento de agua.

#### *Agua nebulizada*

Tiene unos requisitos de abastecimiento de agua menores que los sistemas mencionados anteriormente. El sistema necesita menos reserva de agua, aunque a una mayor presión, si bien esta puede estar incorporada en los cilindros de la reserva, o bien instalarse una bomba volumétrica. Las dimensiones de estos elementos hacen que puedan ser integrables en la góndola con un estudio apropiado. El inconveniente radica en que hay que realizar el mantenimiento del sistema en la propia góndola, lo que implica tanto

la prueba de los sistemas de bombeo o de suministro de presión como el control del nivel de la reserva de agua.

El agua nebulizada es, por otra parte, un sistema que puede alcanzar la extinción del incendio con bastante efectividad cuando es superficial (como es el caso, al menos en los primeros momentos de actuación). Además, en una actuación indebida causaría menores daños que otros sistemas de agua.

Esta tecnología requiere de diámetros de tubería muy pequeños, con lo cual no tienen que existir problemas de suportación. Esto permitiría proteger específicamente los elementos de mayor riesgo, instalando difusores en su interior.

### Extinción por gas

Los sistemas de extinción por gas son semejantes a los de agua nebulizada en cuanto a componentes. Las necesidades de espacio pueden variar notablemen-

## Los aerogeneradores presentan diferentes condicionantes para su protección, que se han agrupado en dos tipos: constructivos y de funcionamiento

te entre los sistemas de extinción por agentes fluorados y los sistemas de extinción por agentes inertes y CO<sub>2</sub>.

Pero su mayor inconveniente es la necesidad de estanquidad de la góndola. Estos gases requieren mantener un tiempo de permanencia con al menos la concentración de extinción para poder ser eficaces ante posibles reigniciones. A este respecto, los gases inertes y el CO<sub>2</sub> son menos sensibles que los fluorados. También hay que considerar que no todas las góndolas tienen el mismo problema de estanquidad. Las góndolas *off-shore* tienen un alto grado de estanquidad frente a las góndolas *on-shore*.

A diferencia de los sistemas de extinción por agua, los gases alcanzan el objetivo de la extinción pocos segundos des-

pues de la descarga, cuando los daños provocados por el incendio son incipientes. Además, al difundirse en la atmósfera protegida, son inmunes a obstáculos que puedan existir entre el difusor y el incendio, pudiendo alcanzar incluso el interior de los equipos. En caso necesario, dado los diámetros de tubería que se manejan, incluso podrían disponerse difusores en el interior de los equipos de mayor riesgo para su protección específica.

Los gases son agentes limpios que no dejan residuos y no afectan a los componentes eléctricos. A consecuencia de estas propiedades, los gases ofrecen menos daños colaterales en caso de extinción y también en caso de descarga accidental.

Estos sistemas deben estar vinculados a un sistema de detección automático. No tienen grandes condicionantes de mantenimiento, salvo en lo que se refiere al control de la cantidad cargada de agente extintor para evitar fugas del mismo, aspecto que se puede supervisar eléctricamente.

### Extinción por agentes químicos

Los agentes químicos presentan en general buenas propiedades de integración en la góndola, debido al escaso espacio necesario para almacenamiento y a una red de difusión bastante ligera. Esta flexibilidad en la distribución hace que se pueda complementar una protección en ambiente con protecciones integradas en los elementos de mayor riesgo. Además, estos sistemas requieren poco mantenimiento, salvo el control de la presión del almacenamiento de agente, que se puede supervisar eléctricamente.

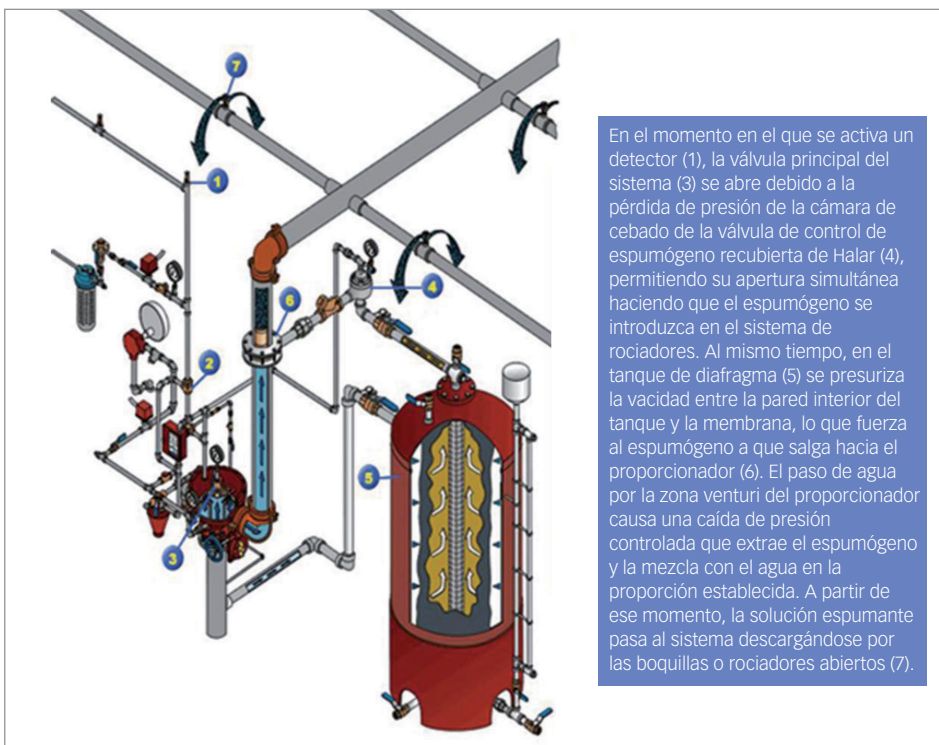


Figura 25. Depósito y válvulas de un sistema de extinción por espuma.

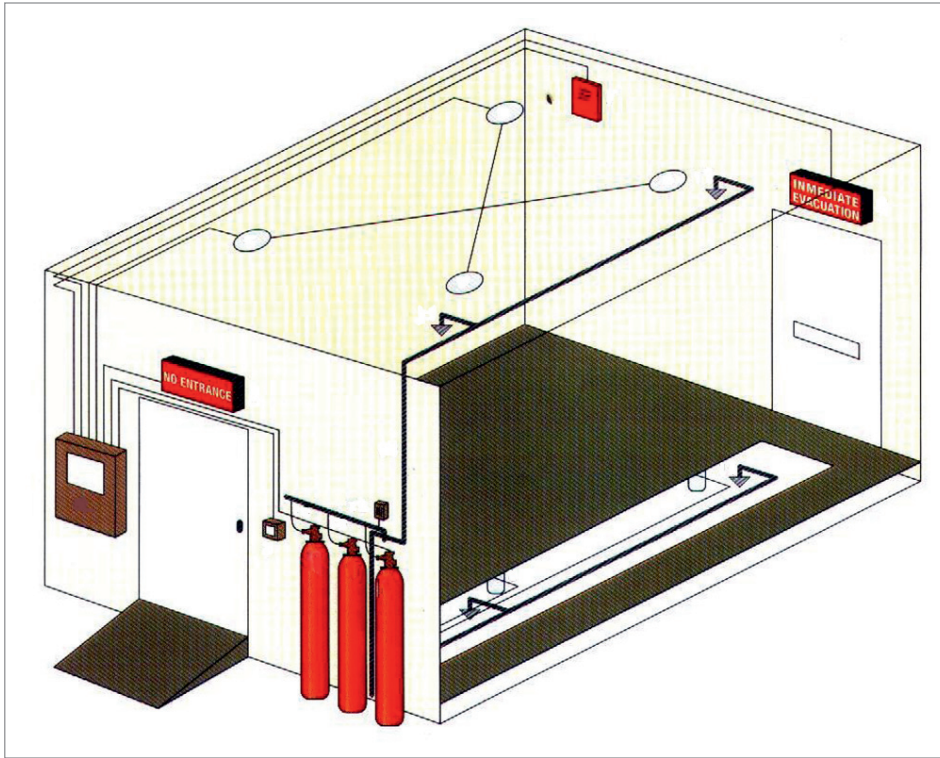


Figura 26. Modelo de sistema de extinción por gas.

Sin embargo, este tipo de agente es abrasivo y puede ocasionar daños a los equipos protegidos, especialmente a los más sensibles (cuadro eléctrico) por corrosión.

Al igual que los gases, requiere de un sistema de control de extinción, pero a diferencia de aquellos no es sensible a la falta de estanquidad. Estos sistemas, especialmente los de agente extintor húmedo, son sensibles a la existencia de obstáculos que impiden o dificultan que el producto alcance la zona incendiada.

### Extinción por aerosoles

Los aerosoles constituyen una opción que no hay que despreciar al considerar la protección de los aerogeneradores. Ocupan poco espacio, no necesitan una red de distribución de agente ni requieren de presurización para actuar, pueden proporcionar protección local o total, no dejan residuos tras la descarga, e incluso pueden prescindir de una

activación por detección automática al tener la posibilidad de accionamiento por mecha (aunque esto debe evaluarse correctamente, ya que implica que debe existir una temperatura importante en la góndola y, por tanto, una mayor extensión del incendio al actuar). Son sistemas que además requieren prácticamente un nulo mantenimiento y que garantizan 15 años de vida útil.

Su mayor inconveniente reside en que este sistema ha sido menos probado que los otros citados anteriormente, y que en muchos casos bien la actuación (por un elemento pirotécnico) o bien la propia reacción exotérmica han causado más daños que el propio incendio. Es importante, al seleccionar este tipo de sistemas, decantarse por los de última generación, que presentan certificaciones acreditativas de la limitación en la temperatura de reacción alcanzada, y que no disponen de pirotécnicos para iniciar la reacción.

## Planteamiento de protección

Los planteamientos de protección se han diferenciado para aerogeneradores *on-shore* y *off-shore*, desde la protección más básica (grado 0) a la más completa (grado 2).

### Protección de aerogeneradores *on-shore*

Los aerogeneradores *on-shore* presentan dificultades añadidas para su protección debidas a su falta de estanquidad. Por otra parte, son equipos de menor coste y de mayor accesibilidad para mantenimiento que los aerogeneradores *off-shore*. Por ello son menos críticos, por lo que la protección propuesta pretende buscar el equilibrio entre fiabilidad y coste.

#### Grado 0

Disponer un sistema de detección por cable térmico convencional, que en alarma provoque la parada del aerogenerador y la actuación de un sistema de extinción por aerosoles. La temperatura de fusión del cable seleccionado debe ser lo más baja posible, teniendo en cuenta las circunstancias ambientales normales y de trabajo en el interior de la góndola. Se instalan dos líneas de cable separadas, constituyendo dos zonas de detección.

Se instala una central convencional en el aerogenerador que, ante la señal de un cable, entra en prealarma, solicitando la parada del aerogenerador; y ante una señal del segundo cable, entra en alarma y ordena el disparo del aerosol. El aerosol se instala para la protección en ambiente de la góndola. Se pueden instalar varias unidades que entre todas sumen la cantidad necesaria de producto. El disparo es en todo caso simultáneo para todas las unidades cuando se produce eléctricamente. De fallar la señal de detección, el sistema podría disparar



de forma automática por medio de la mecha del aerosol, al alcanzarse temperatura suficiente.

Es un sistema barato, con muy bajo mantenimiento y fiable en la actuación, pero tardío. Conlleva la pérdida de los equipos en la góndola, pero evita con gran probabilidad el daño a la imagen del explotador del aerogenerador en llamas y la propagación de las mismas a los montes próximos.

#### Grado 1

Disponer una detección por aspiración láser, con puntos de aspiración en el interior de los equipos cerrados de mayor peligrosidad. Esta detección produce el paro del aerogenerador. En caso de que el nivel de detección pase a alarma, descarga el agente extintor fluorado en el interior de los equipos cerrados con mayor riesgo de incendio (si la estanquidad de estos equipos no es muy alta, instalar preferiblemente CO<sub>2</sub> o gas inerte en su lugar).

No sería eficaz contra incendios provenientes de otros equipos o riesgos fuera de los protegidos. La paralización de la actividad sería de días, ya que el incen-

### Los planteamientos de protección se han diferenciado para aerogeneradores *on-shore* y *off-shore*, desde la protección más básica (grado 0) a la más completa (grado 2)

dio se detecta con precocidad en el interior del equipo, e igualmente se extingue en caso necesario con daños mínimos, pero podría dar lugar a la pérdida total del aparato si el incendio se origina en otras zonas diferentes de las protegidas.

El detector de aspiración se instala en la base de la torre, junto con la central de extinción, para facilitar el mantenimiento de los mismos. Los conductos de aspiración discurren a lo largo de la torre y penetran en el interior de la góndola, salvando el movimiento góndola-torre con el accesorio apropiado. Los puntos de aspiración se distribuyen en los diferentes equipos como se ha indicado, avalando el resultado con un cálculo hidráulico.

En función del espacio disponible, se puede optar por instalar un único cilindro en la góndola, con una red de distribución de producto con entradas en cada uno de los equipos protegidos, o varios cilindros que en total suman la cantidad

de gas necesaria, que dispararían en todo caso a la vez.

Las salidas de relé del detector de aspiración pueden conectarse a las entradas de zona de la central de extinción, que es la que ordena el disparo.

#### Grado 2

Disponer una detección por aspiración láser capaz de discriminar partículas de polvo, con puntos de aspiración en ambiente y en el interior de los equipos cerrados de mayor peligrosidad. Esta detección produce el paro del aerogenerador. En caso de que el nivel de detección pase a alarma, se produce la descarga de agua nebulizada en ambiente. La fiabilidad del conjunto es alta, y la paralización de la actividad puede ser de algunas semanas, ya que probablemente conllevará la sustitución del equipo afectado.

La distribución del sistema es como se ha mencionado para el grado 1, con el detector de aspiración en la base y el sistema de extinción en la góndola. Se utilizará agua nebulizada de alta presión, con almacenamiento en uno o varios cilindros presurizados, cargados con la cantidad total necesaria para la inundación total, que dispararán en todo caso a la vez.

### Protección de aerogeneradores *off-shore*

En los parques *off-shore* se requiere un grado de fiabilidad y respuesta mayor, ya que se trata de equipos de un elevado coste tanto directo como de mantenimiento, y la paralización de los mismos por causas indebidas supone grandes pérdidas teniendo en cuenta la potencia de estos aerogeneradores. En la protección de estos elementos se han buscado las prestaciones por encima del coste.

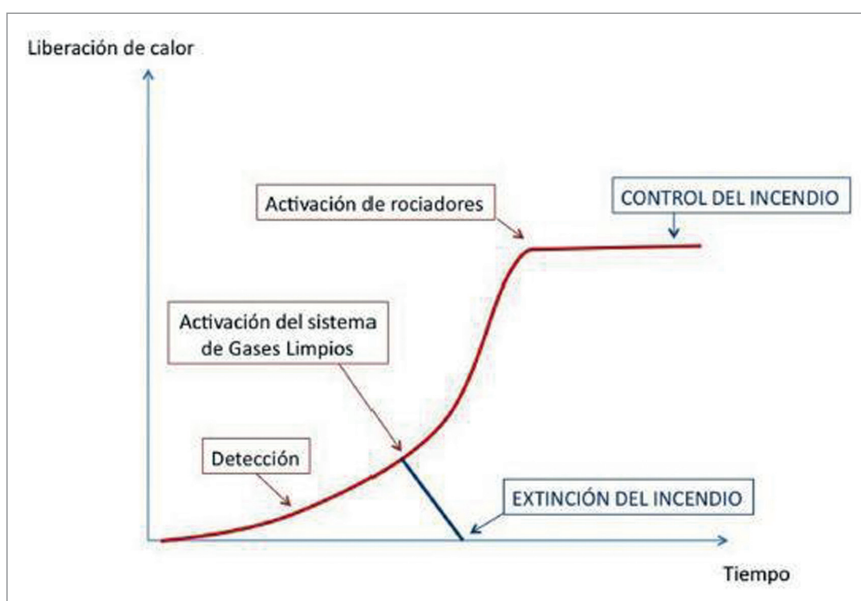


Figura 27. Comparación entre la extinción por rociadores y por agentes gaseosos.

Para adaptar y concretar estas propuestas es necesario realizar ensayos de funcionamiento de estos sistemas en las condiciones más similares a las de operación

#### Grado 0

Disponer un sistema de detección puntual de humos en ambiente, que en prealarma provoque la parada del equipo y en alarma la actuación de un sistema de extinción por aerosoles.

Sistema barato, con muy bajo mantenimiento y fiable en la actuación, pero tardío. Conlleva la pérdida de los equipos en la góndola, pero evita con gran probabilidad el daño a la imagen del explotador del aerogenerador en llamas.

El sistema puntual requiere de la instalación de un detector en techo sobre cada uno de los equipos con riesgo de producir un incendio. Los detectores se conectan a una central analógica, que en modo normal aporta una información sobre la zona protegida que permite prever las maniobras de mantenimiento, y que pueden configurarse para que en detección simple provoquen la parada del aerogenerador y en modo de coincidencia provoquen el disparo del agente extintor, a través de los oportunos módulos de salida.

Las centrales del parque eólico se conectarán a un terminal gráfico que supervisará y controlará la información proveniente de las mismas.

#### Grado 1

Disponer una detección por aspiración láser, conectada a una central de extinción.

El tipo de detector de aspiración debe permitir la supervisión del mismo mediante *web server*. Esto permite conocer en tiempo real la situación en la zona de



protección. El detector se conecta a una central de extinción, a través de sus salidas de relé. Estos elementos se sitúan en la base de la torre, para facilitar el mantenimiento. La central de extinción debe poder supervisarse y controlarse remotamente, por conexión IP, a un terminal de gestión, al que se conectarán el resto de centrales de un mismo parque eólico, y que también permitiría en caso necesario dar la orden de extinción de forma remota.

La central de extinción dará orden de disparo automáticamente en caso de alarma del detector de aspiración. Se empleará una extinción por agua nebulizada en ambiente. Los cilindros de almacenamiento se situarán en la góndola. Se instalarán uno o varios cilindros en función del espacio utilizable, pero el disparo de todos ellos será simultáneo.

#### Grado 2

Igual que la protección de grado 1, pero el detector láser será de doble visión, y adicionalmente a la extinción por agua nebulizada en ambiente se instalan protecciones por agente extintor fluorado en el interior de los equipos cerra-

dos (si la estanquidad de estos equipos no es muy buena, utilizar preferiblemente CO<sub>2</sub> o gas inerte en su lugar).

## Conclusiones

La protección contra incendios de los aerogeneradores presenta tantas peculiaridades que es difícil encontrar una solución idónea que se adapte perfectamente a los objetivos buscados. Las propuestas que aquí se han realizado han de ir ligadas a un análisis del modelo específico de aerogenerador y, sobre todo, a determinar cuál es el objetivo que se pretende alcanzar con la protección, ya que el cumplimiento al cien por cien de los objetivos de fiabilidad del sistema, precocidad y mantenimiento mínimo difícilmente puede alcanzarse. Para adaptar y concretar estas propuestas es necesario realizar ensayos de funcionamiento de estos sistemas en las condiciones más similares a las de operación. ♦

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por FUNDACIÓN MAPFRE (Ayudas a la investigación 2011).