



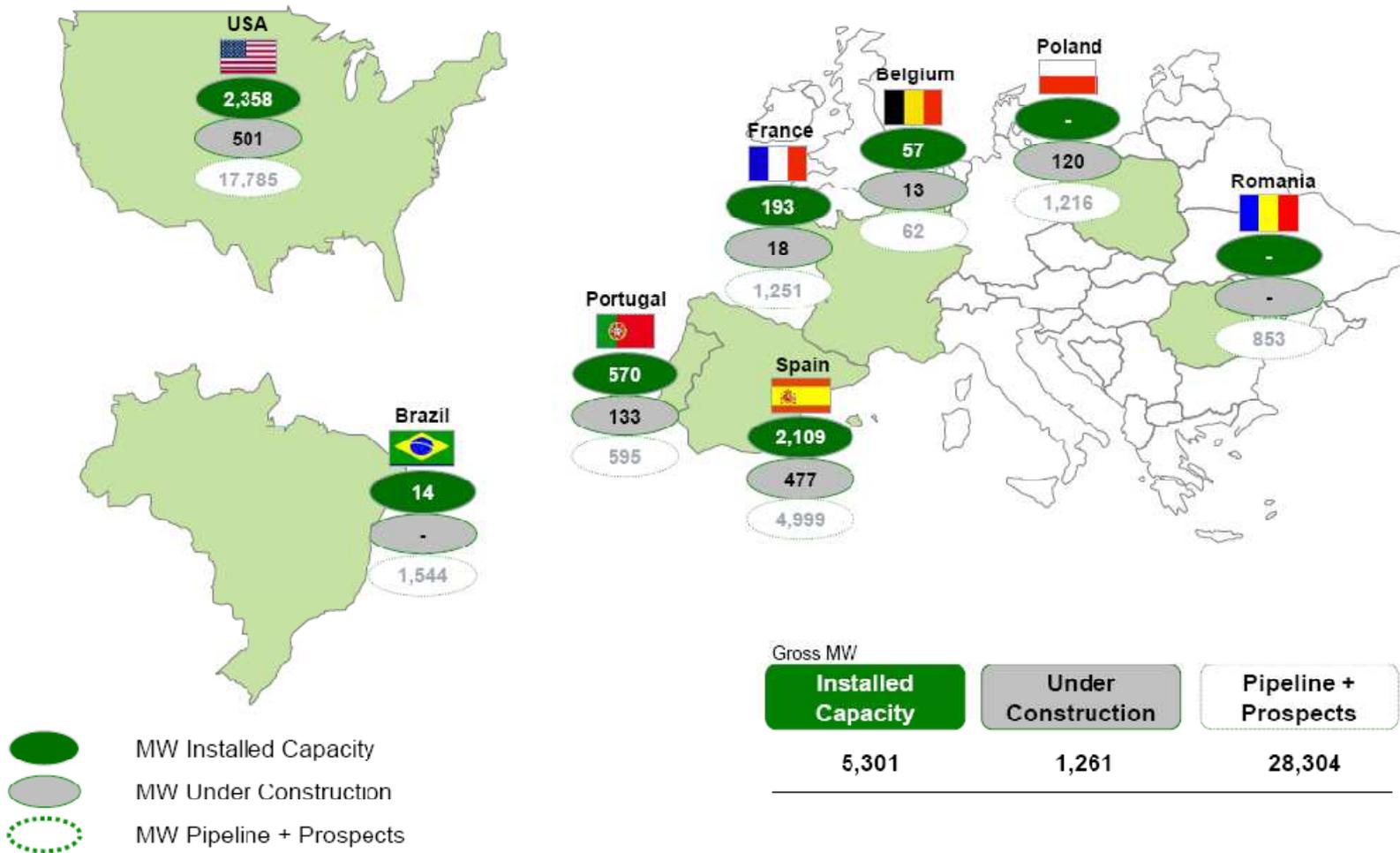
Mantenimiento Predictivo en la Industria Eólica.

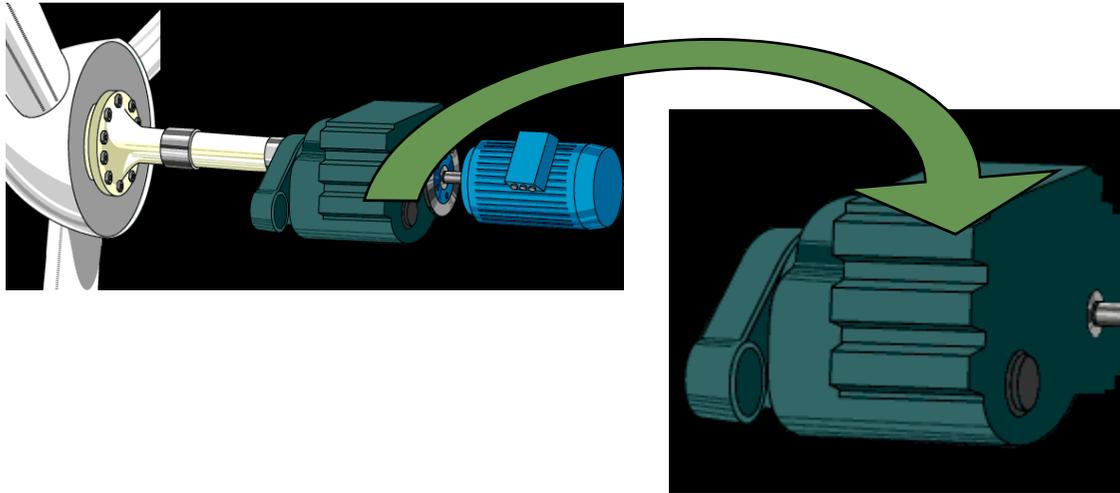
Francisco Galván González
Director de Tecnología EDPR-EU

Zaragoza, 22 de Septiembre de 2009



EDP Renováveis: Holding EDP para Energías Renovables





El deterioro en el tiempo de las características de este componente lo llevará en un determinado momento a un funcionamiento fuera de especificaciones

Con el mantenimiento se pretende restaurar sus características a un estado similar al inicial para que no se vea mermada la funcionalidad del aerogenerador.

• ¿Reparamos después de que se detecte la avería?

→ **MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

• ¿Realizamos una acción de mantenimiento a intervalos periódicos encaminada a evitar que se desarrolle la avería?

→ **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

• ¿Empleamos medios que nos den **información** que permita **predecir** cuándo se va a desarrollar la avería para **programar** la acción de mantenimiento?

→ **MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Modelos de Mantenimiento II



	<p>VENTAJAS</p> 	<p>INCONVENIENTES</p> 
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	Simple, no necesita medios avanzados ni personal cualificado.	Riesgo de grandes tiempos de parada. Riesgo de grandes daños colaterales.
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Requiere de una pequeña inversión para establecer el modelo de intervención. Después es simple y no requiere ni medios avanzados ni personal cualificado.	Riesgo de intervenciones muy frecuentes, con alto coste. Riesgo de intervenciones muy tardías, con desarrollo completo de averías y por tanto con iguales inconvenientes que el mantenimiento correctivo.
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	Permite predecir con suficiente antelación cuándo se va a producir la avería de manera que se puede programar la intervención, con bajos costes de medios y cortos tiempos de parada. Escasos daños colaterales.	Complejidad media-alta. Requiere de medios avanzados y personal cualificado, que en si mismos son un coste.



Modelos de Mantenimiento III

El **MANTENIMIENTO CORRECTIVO** es adecuado en sistemas cuya avería no entraña grandes costes de parada ni de reparación. No es el caso de los aerogeneradores.

El **MANTENIMIENTO PREVENTIVO** es adecuado en sistemas cuya avería entraña significativos costes de parada y/o de reparación; con la condición que estos sistemas trabajen de forma uniforme en el tiempo (régimen constante).

En eólica hay una gran variabilidad en las solicitaciones dado que estas proceden de la meteorología:

Velocidad media de viento

Direccionalidad del viento

Intensidad de turbulencia

Densidad del aire

Temperatura del aire

Radiación solar

Humedad

Lluvia

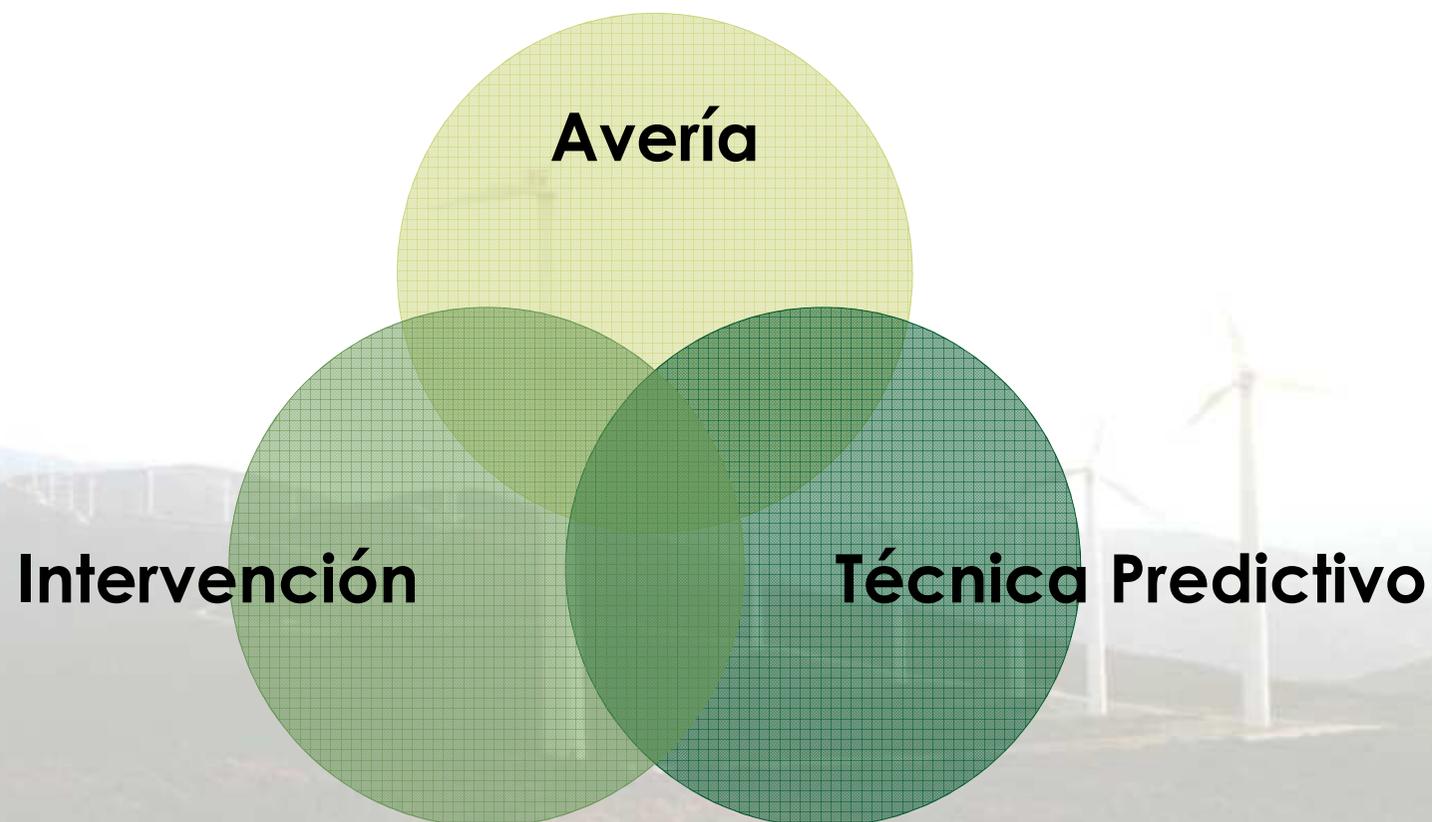
Nieve

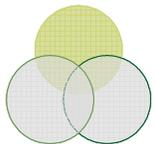
Por tanto el aerogenerador va a evolucionar en cuanto a su estado y comportamiento de forma muy variable → Es difícil ajustar el mantenimiento siguiendo pautas de actuaciones periódicas → Es preciso adecuar el mantenimiento al estado del componente, en base a las cargas que experimenta → El **MANTENIMIENTO PREDICTIVO** por sus características se muestra como el más adecuado para aerogeneradores (tema aparte es si su coste compensa).

Triángulo del Predictivo

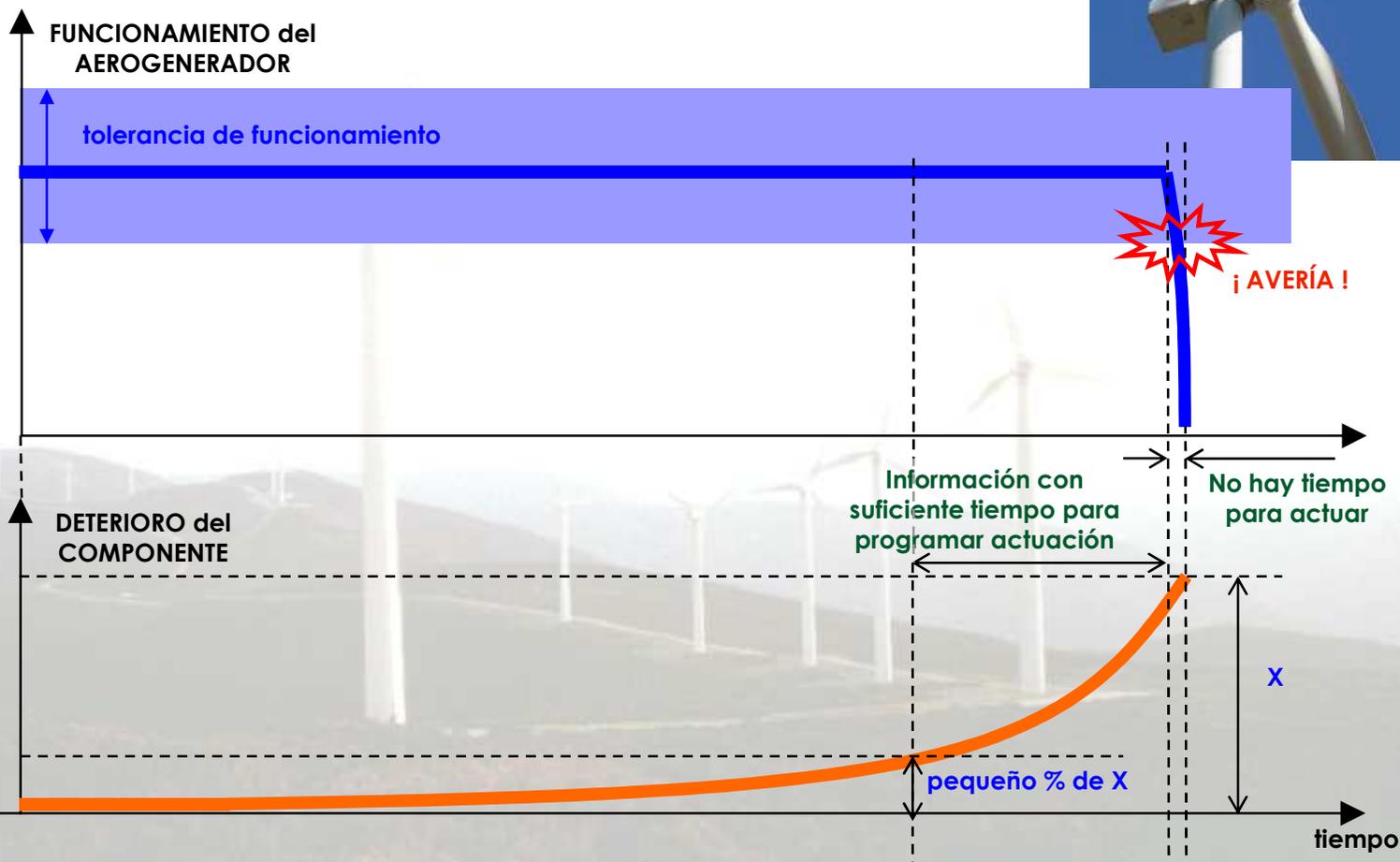


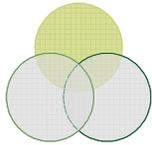
El análisis para la aplicación de modelos de mantenimiento predictivo debe realizarse teniendo en cuenta las tres variables que entran en juego.



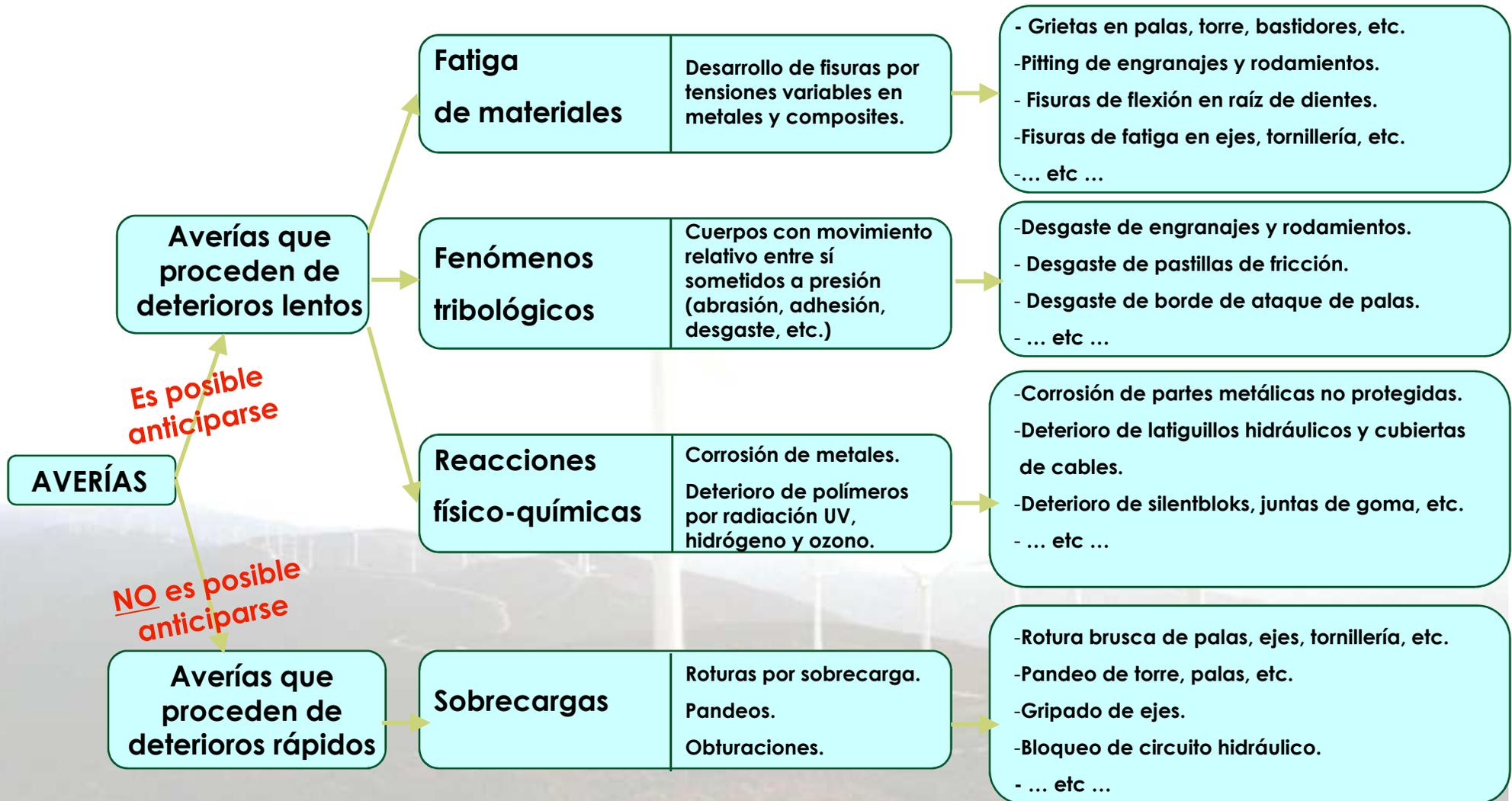


Evolución de Averías

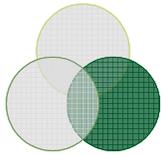




Averías: Tipos y Opciones de anticipación



Un tema muy importante a tener en cuenta es si las averías se pueden reparar en la góndola o no.



Opciones de Predictivo



Inspecciones

Las INSPECCIONES se realizan en el propio aerogenerador. En ellas se comprueba el estado de los componentes. Proporcionan la información más fiable del estado real del aerogenerador. Pero . . .

- Consumen muchos recursos humanos.
- Su realización suele implicar la parada del aerogenerador.
- La mayor parte de la información es cualitativa lo que dificulta los estudios de tendencias.

- Palas, torre, bancada, estructuras, carcasas plásticas
- Toma de muestras de aceites y grasa
- cuerpos metálicos -> corrosión
- engranajes y rodamientos (endoscopio)
- ajustes mecánicos, tornillería
- componentes eléctricos y cableado.
- Componentes hidráulicos.

Condition Monitoring

Los Sistemas de CONDITION MONITORING realizan un seguimiento (monitorización) de parámetros de funcionamiento (condición) del aerogenerador para ante la evidencia de cambios en esos parámetros detectar posibles futuras averías en etapas muy iniciales.

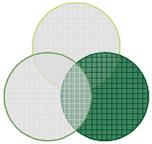
Esta definición es muy amplia y puede englobar a la totalidad de técnicas, pero vamos utilizar el término CM para equipos comerciales autónomos compuestos de hardware (acelerómetros, galgas, contadores partículas, tarjetas de adquisición,...) y software propio.

- Análisis de vibraciones
- Contaje de partículas en aceite
- Galgas extensiométricas
- Análisis acústico

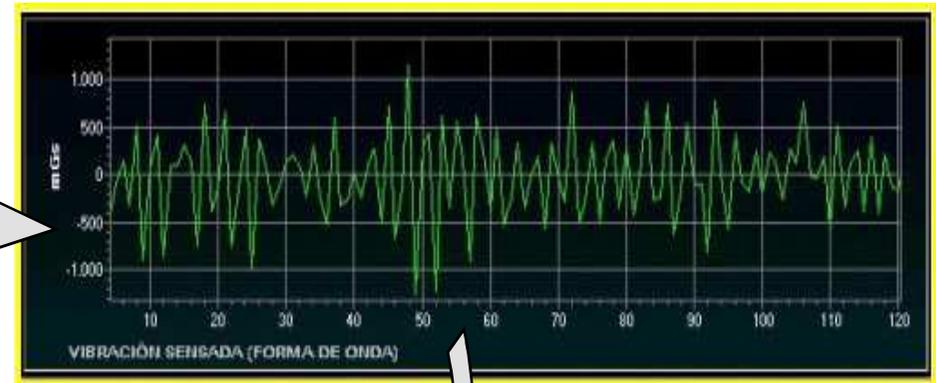
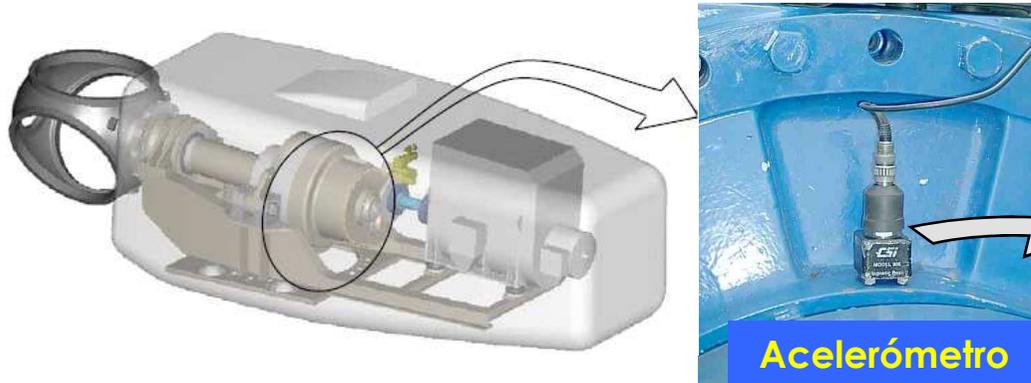
Métodos basados en SCADA

Se trata de emplear los sistemas convencionales SCADA de los parques eólicos para hacer condition monitoring pero a un nivel más avanzado, obteniendo una herramienta de monitorización de estado potente y de bajo coste.

- Contadores de fatiga
- Modelos paramétricos
- Modelos no paramétricos
- Modelos estadísticos



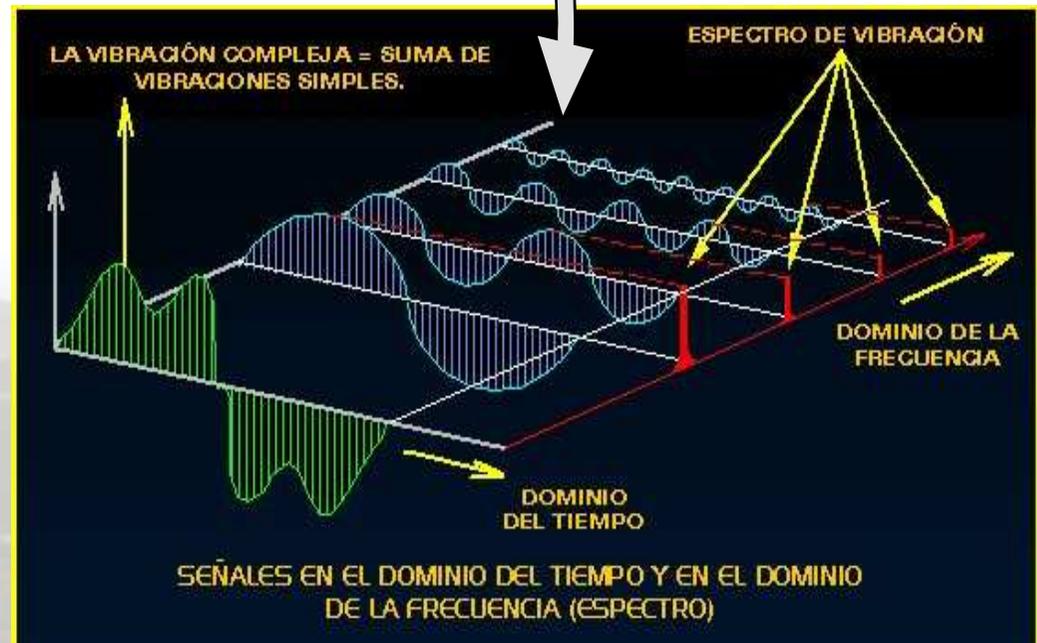
Condition Monitoring. Analizadores de Vibraciones

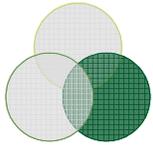


Incorporados a la eólica desde otros campos industriales, donde tenían gran difusión y éxito desde la década de los 80. En eólica encuentran dificultades a su entrada en los 90: tanto técnicas (cargas y velocidades variables, bajas frecuencias en zona rotor, múltiples frecuencias superpuestas en zona planetaria); como económicas (coste de analizadores alto frente a aerogeneradores de poca potencia y muchas unidades).

Han tenido desde entonces un gran desarrollo técnico (sobre todo promovido por las aseguradoras en Alemania) y actualmente existen analizadores específicamente desarrollados para eólica y el hecho de ser los aerogeneradores actuales de mayor potencia y menos unidades está permitiendo su difusión como una tecnología aplicada en eólica.

Su principal ventaja es su capacidad para detectar futuras averías en etapas muy tempranas (meses de anticipación).

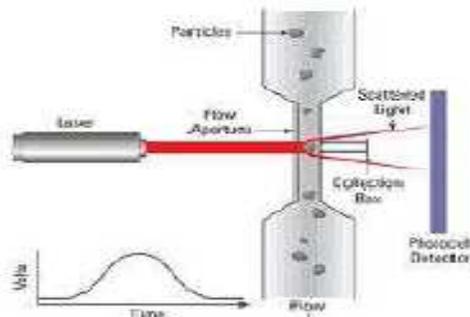




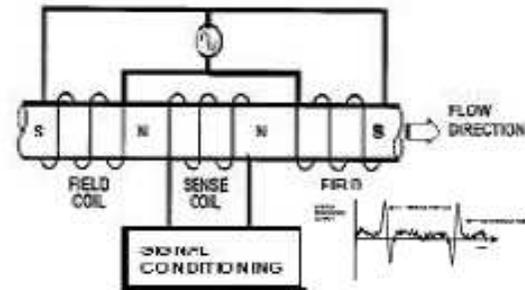
Condition Monitoring. Presencia de partículas en aceite



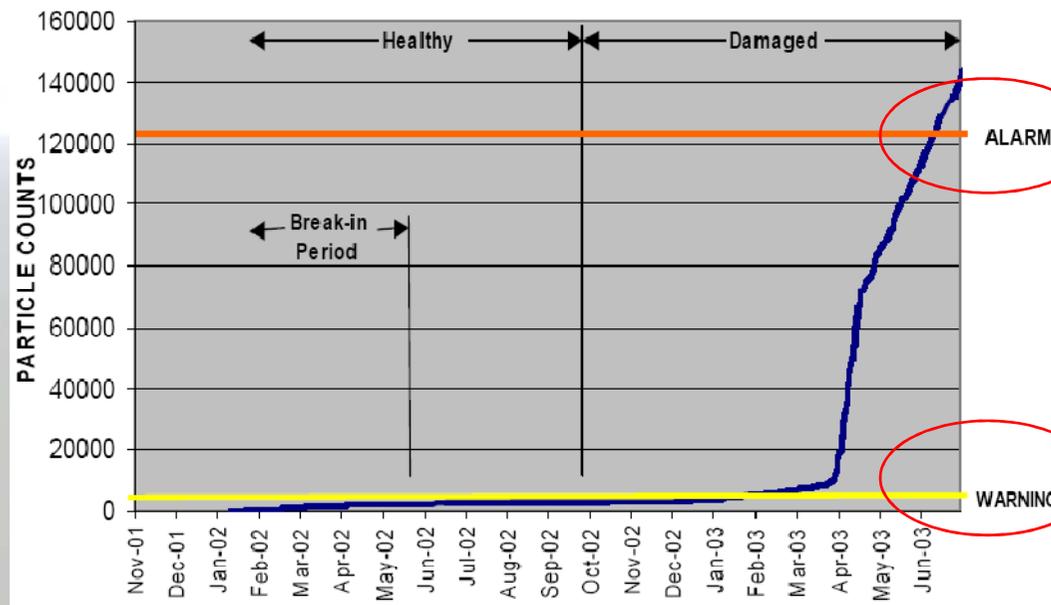
Contadores de partículas ópticos



Contadores de partículas inductivos



Sensor montado entre la bomba y el filtro

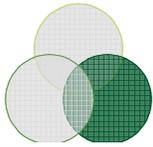


Alarma de reemplazo de componente:



8 meses antes de alcanzar la alarma de reemplazo de componente ya se alcanzó el nivel de alerta

Imágenes: GAStop

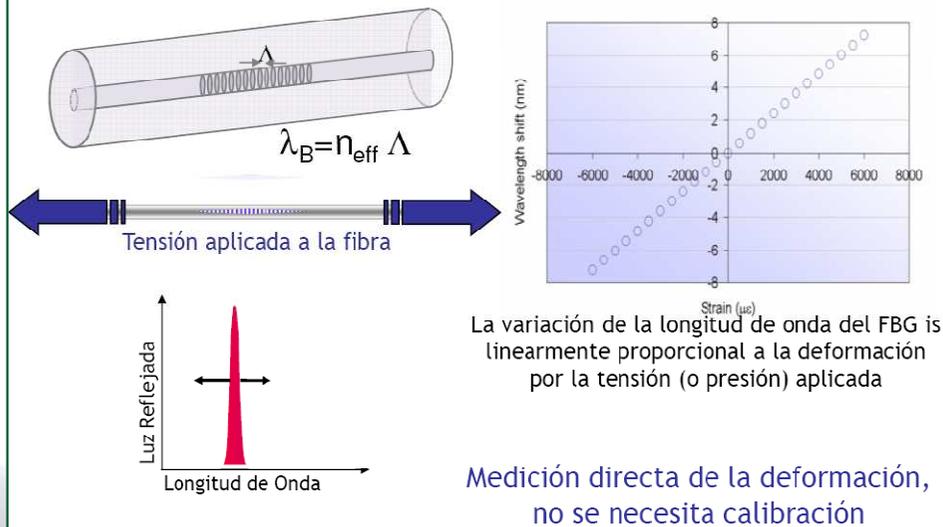


Condition Monitoring. Deformaciones en palas



Fibra óptica con red de difracción Bragg

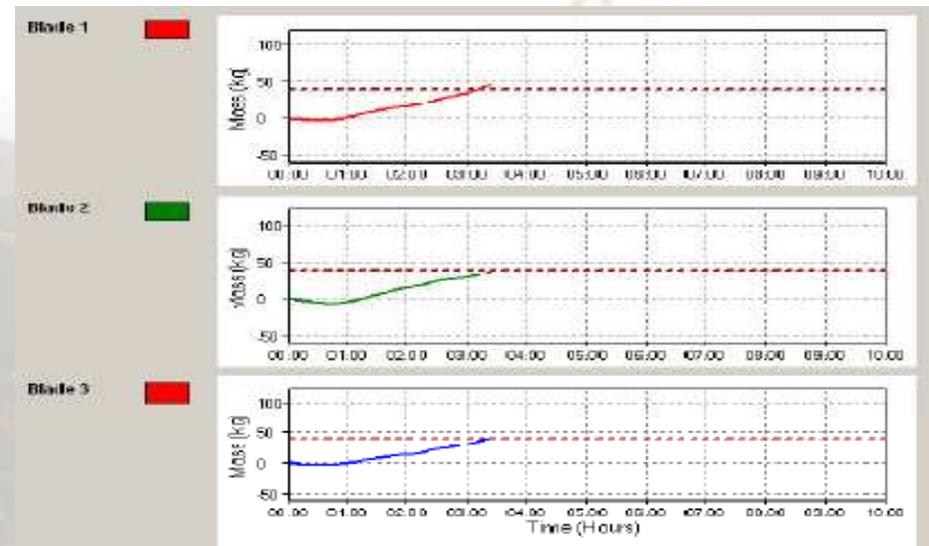
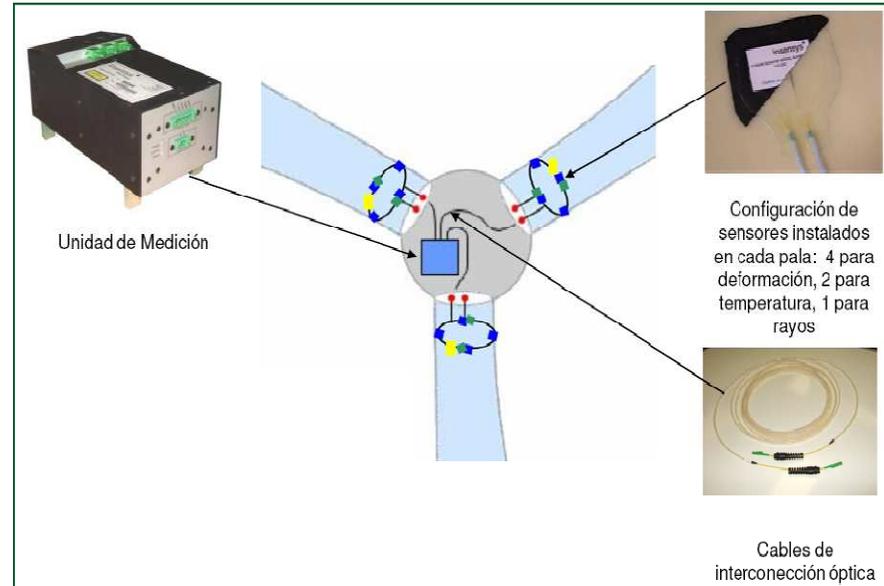
- Respuesta a la deformación del sensor FBG

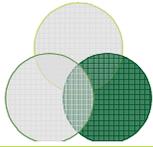


Detección sensible (5 kg en palas de 6000 kg) de:

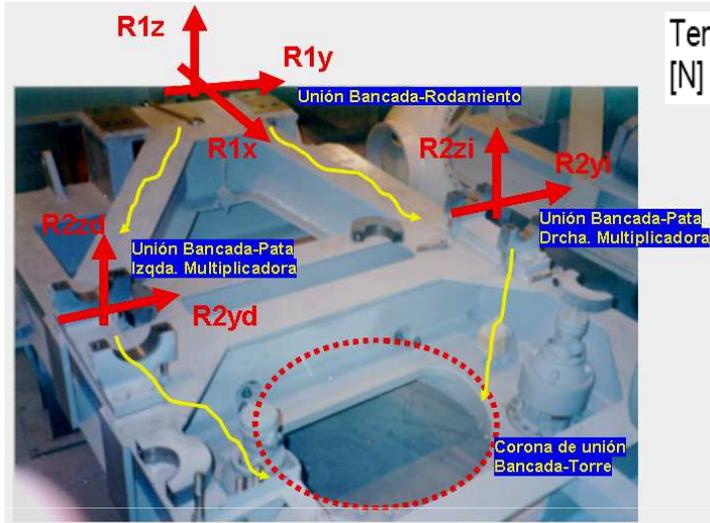
- Hielo en palas
- Desequilibrios másico o aerodinámico del rotor (ya sea por pitch, yaw o estado de pala)
- Daños estructurales en pala

Imágenes: Insensys

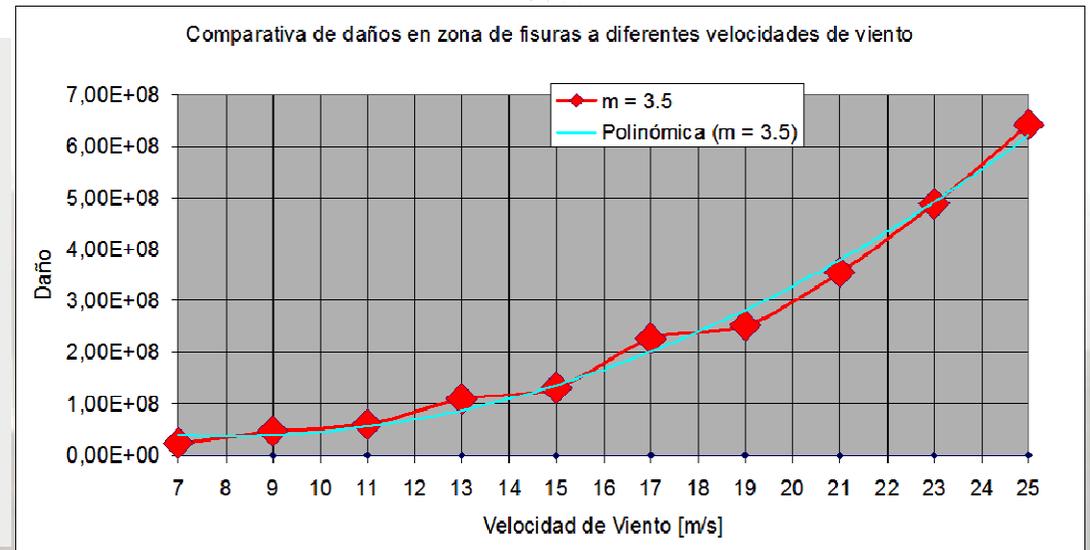
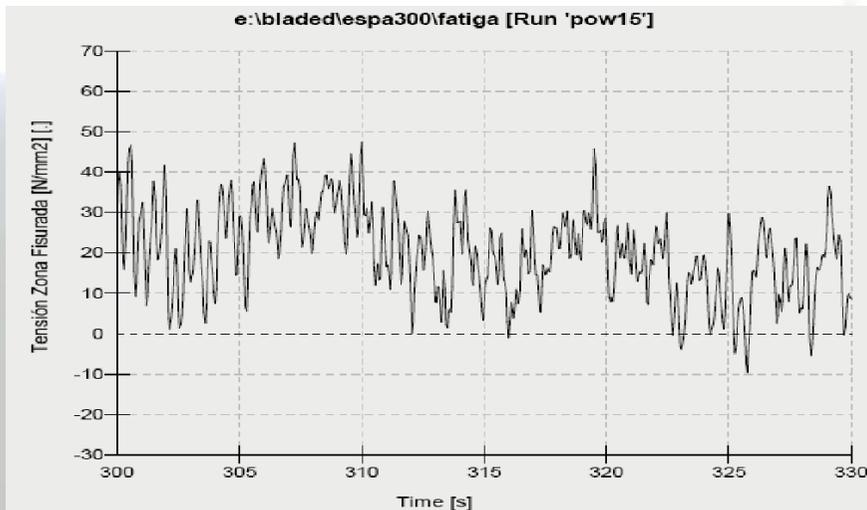
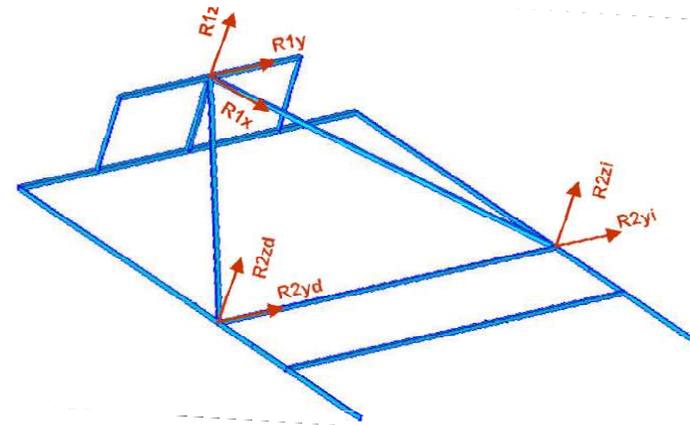


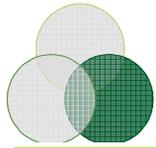


Métodos Basados en Scada. Contadores de Fatiga. Ejemplo



$$\text{Tensión [N/mm}^2\text{]} = -2.3183\text{E-}4 * R1X \text{ [N]} - 1.1962\text{E-}3 * R1Y \text{ [N]} - 8.993\text{E-}4 * R1Z \text{ [N]} - 1.1405\text{E-}3 * R2YD \text{ [N]} - 4.6996\text{E-}4 * R2ZD \text{ [N]} - 1.1589\text{E-}3 * R2YI \text{ [N]} - 9.7969\text{E-}5 * R2ZI \text{ [N]}$$





Métodos Basados en Scada. Modelos Paramétricos (Físicos)



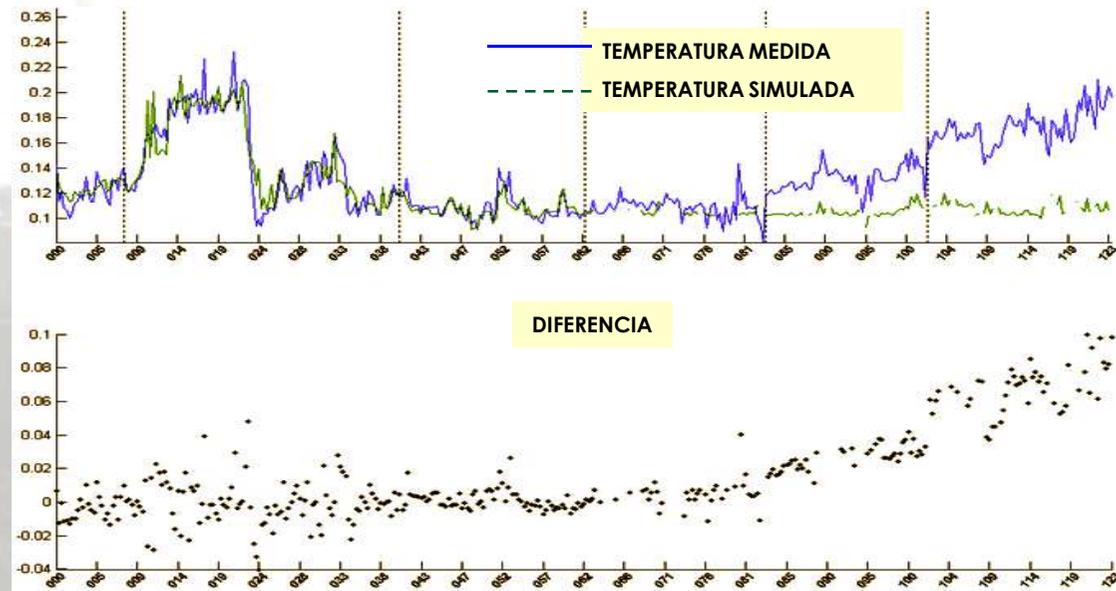
Hay que establecer relaciones físicas entre variables dependientes. Por ejemplo, la temperatura del aceite de la multiplicadora, por si sola no es un buen indicador del estado de la multiplicadora; pero si se relaciona a la vez con la potencia y la temperatura ambiente e incluso con la velocidad del viento, que son las variables de las que físicamente depende, puede concebirse la existencia de una función que se podrá obtener por correlación con los datos del SCADA:

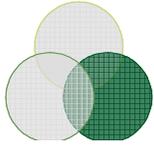
$$T_{\text{aceite multiplicadora}} = f(P, T_{\text{ambiente}}, \bar{v})$$

(MODELO FÍSICO: La temperatura del aceite de la multiplicadora procede del equilibrio térmico entre la potencia calorífica que se desprende en el interior de la misma por las fricciones de los engranajes y rodamientos –que depende de la potencia entrante– y la potencia calorífica refrigerada por intercambio con el ambiente por la propia carcasa y el sistema de refrigeración –que depende de la temperatura y velocidad del flujo de aire en torno a la góndola –)

Conocida la función podrá utilizarse para hacer seguimiento de la diferencia entre su pronóstico y la medida real.

Cuando esa diferencia sea creciente será indicativo de algún cambio en alguno de los equipos que afectan a la temperatura del aceite de la multiplicadora (la propia multiplicadora y los componentes del circuito de refrigeración).





Métodos Basados en Scada. Modelos No-paramétricos



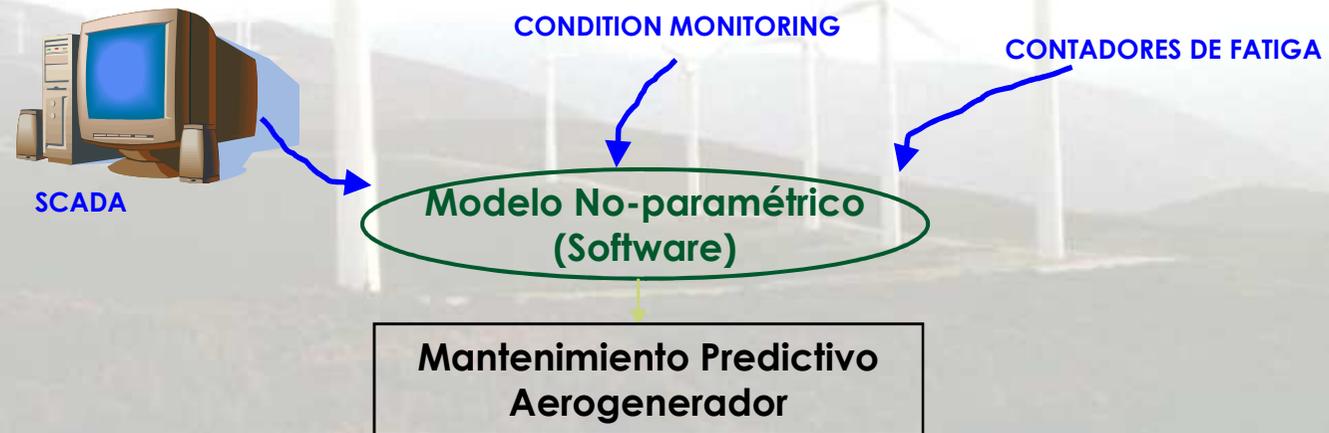
Los modelos físicos (paramétricos) son precisos y por tanto potentes, pero determinarlos es difícil por lo que su uso es restringido a las relaciones más conocidas. Para cubrir esta dificultad pueden usarse los Modelos No-paramétricos: “Kernel Regression (KR)”, “Support Vector Machines (SVM)”, “Neural Networks (NN)”, etc. De todas estas técnicas, la más empleada de es la “**Similarity Based Modeling**” **SBM (Modelos Basados en la Similitud)**:

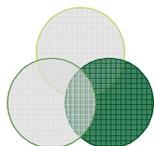
El objetivo de esta técnica es:

- Predecir futuras averías o anomalías → **Mantenimiento Predictivo**.
- Informar sobre el estado actual del sistema en tiempo real.

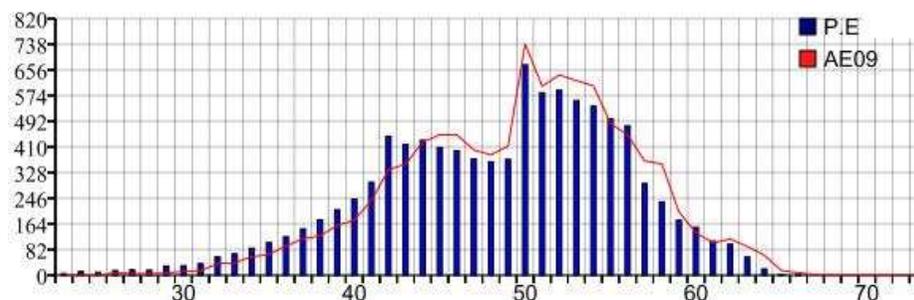
Descripción SBM:

- SBM es un algoritmo que no requiere a priori un conocimiento analítico de la física del sistema, sino que con los datos históricos del sistema y los actuales es capaz de establecer una relación de comportamiento. Por lo tanto, SBM es una técnica de reconstrucción basada en una interpolación multidimensional que es diseñada a partir de unos datos de correcto funcionamiento del sistema.

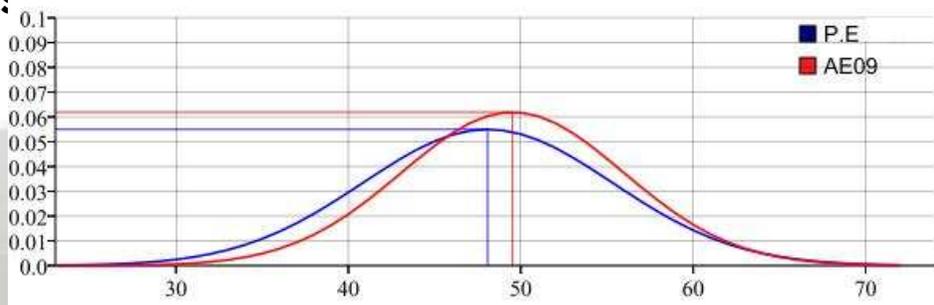




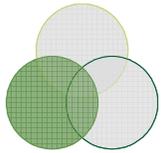
La clave será elegir un índice representativo del comportamiento de un sistema del aerogenerador, y obtener su espectro de frecuencias:



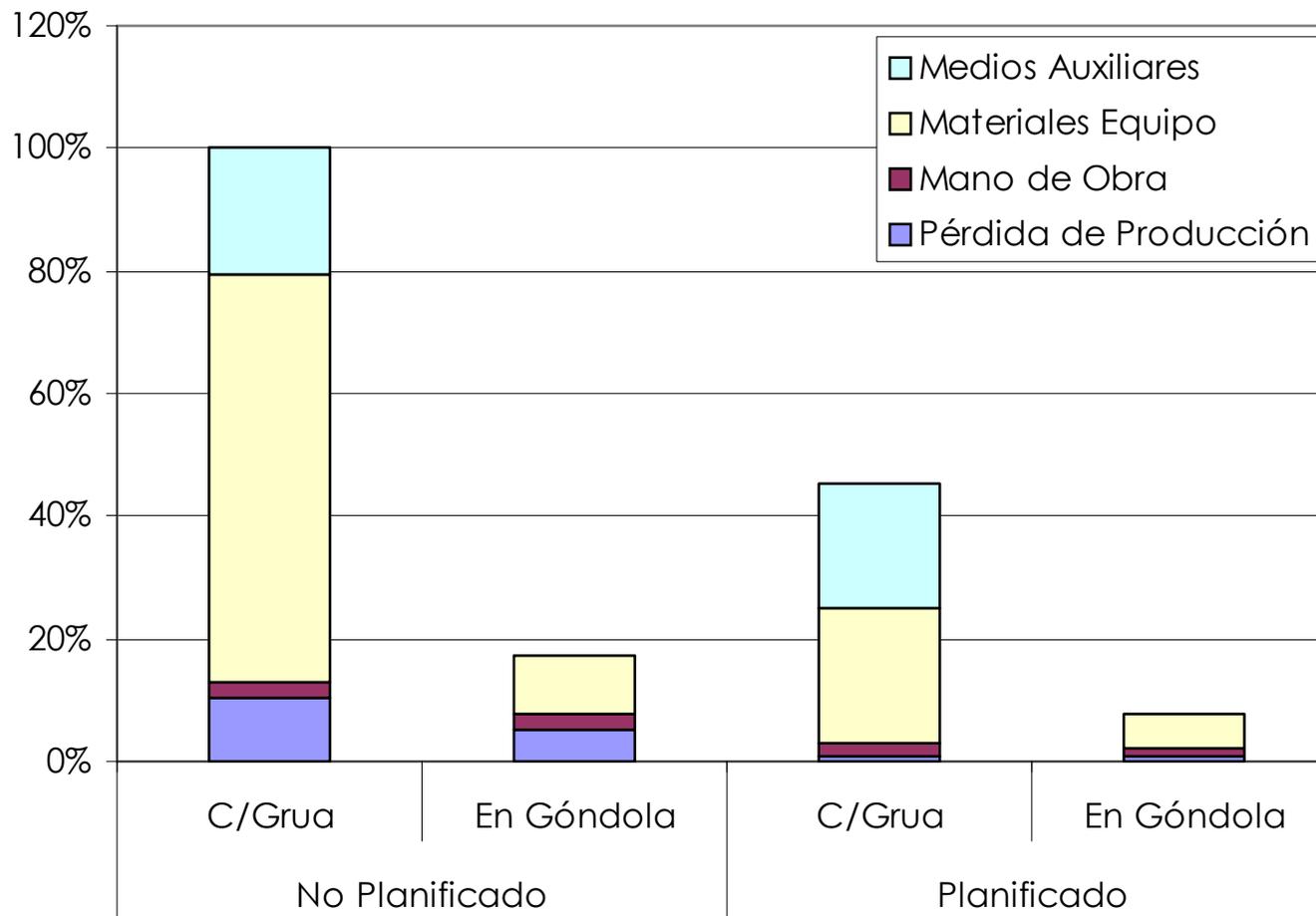
Con ellos se puede analizar qué distribución estadística sigue el índice y realizar la comparativa entre poblaciones:



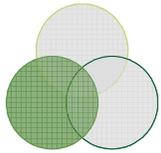
De esta manera es posible determinar qué población está trabajando fuera de un rango permisible, lo cual puede ser indicativo de una futura avería.



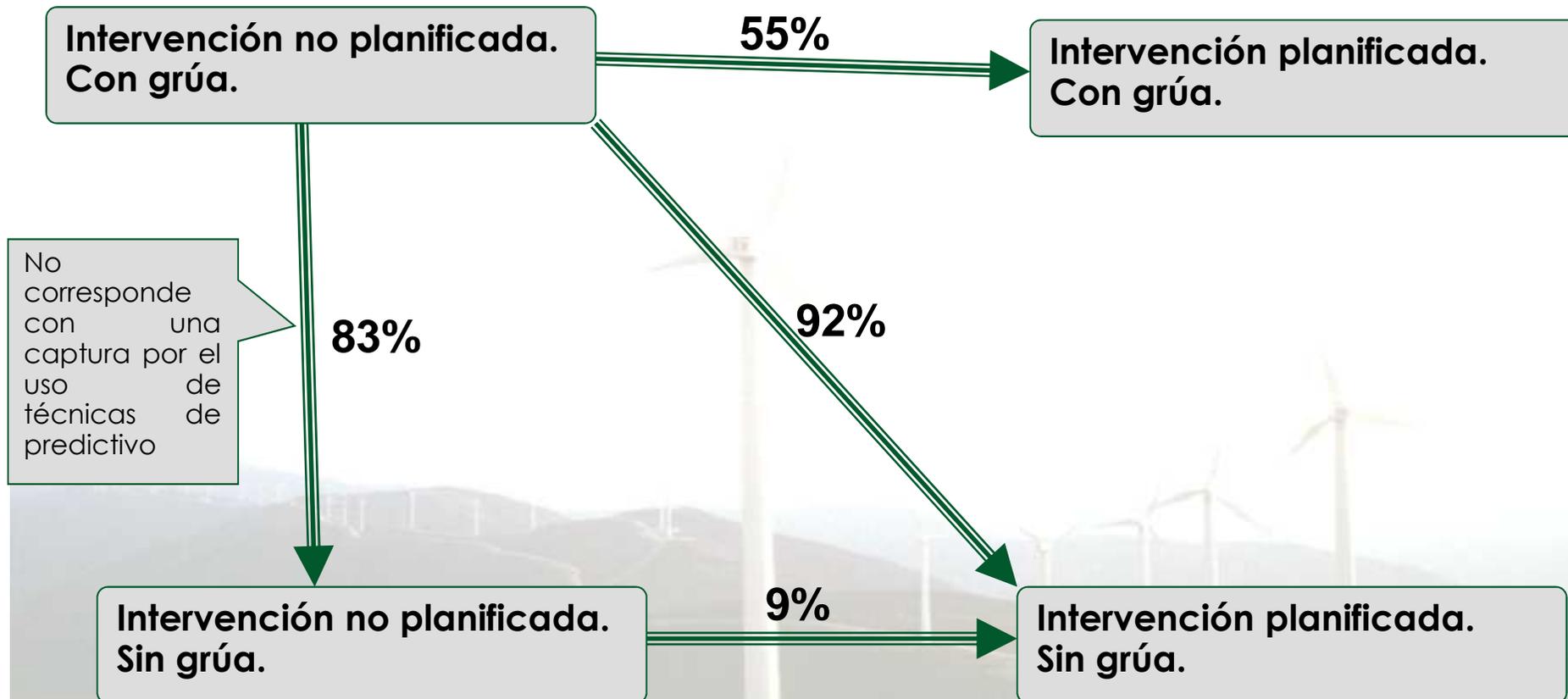
Intervenciones. Costes Asociados



Ejemplo de costes relativos para una intervención resultado de una avería en multiplicadora para una aerogenerador de tamaño medio.



Intervenciones. Ahorros Potenciales



Nota: Porcentajes de ahorro referidos al coste de la intervención más cara: no planificada y con grúa.

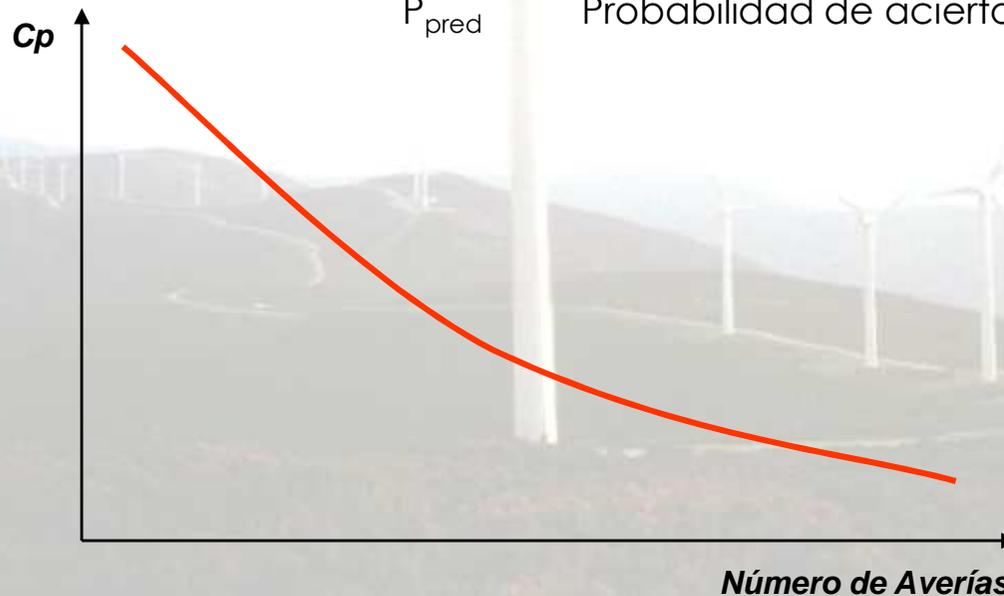


Análisis Económico: Coste de la Predicción

El Coste de la Predicción lo definimos como la inversión total en equipos más servicios de predicción un parque eólico o una flota de aerogeneradores respecto al número de número de predicciones acertadas.

$$C_p = \frac{I + nC_s}{T_{averias} P_{pred}}$$

C_p	Coste de la predicción
I	Inversión unitaria en equipos
n	número de años del periodo de estudio
C_s	Coste del servicio
$T_{averias}$	Tasa de averías
P_{pred}	Probabilidad de acierto de la predicción

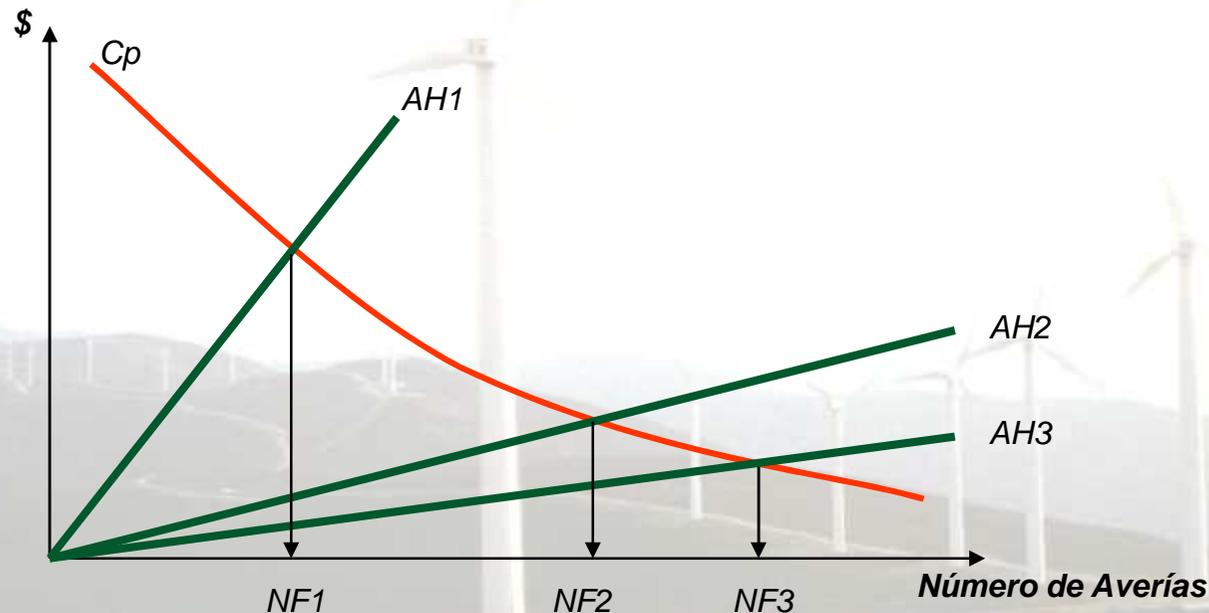


Curva análisis coste/beneficio



Se trata de realizar un ejercicio por cada técnica de predictivo versus el tipo de avería sobre la que se actúa. Las curvas de ahorro dependerán de los costes evitados en las actuaciones.

Una vez determinada la tasa esperada de fallo es posible decidir si una determinada técnica es viable desde el punto de vista económico.





- **El mantenimiento predictivo es un paso adelante en la tecnificación del mantenimiento en la industria eólica**
- **Existen diversas técnicas disponibles comercialmente para su aplicación. Estas técnicas se han adaptado para su aplicación en aerogeneradores.**
- **Es necesario encontrar el mapa de aplicación de cada técnica de predictivo con las averías que es posible atacar.**
- **El ejercicio más importante a realizar es la preparación de escenarios de coste de las distintas intervenciones y los potenciales ahorros que se podrían capturar con la aplicación de técnicas de predictivo.**
- **El análisis coste-beneficio de cada técnica arrojará la tasa de fallos umbral que hacen rentable el uso de la técnica.**
- **Análisis económico orientará la toma de decisión.**

**GRACIAS
POR SU ATENCIÓN**

 **edp renováveis**
powered by nature