



**Competencia en la tecnología  
de rodamientos y servicios  
para aerogeneradores**

## Competencia gracias a los conocimientos y a la experiencia

FAG Kugelfischer es la empresa pionera en la industria de los rodamientos. Friedrich Fischer construyó, en 1883, un molino de bolas, una idea que se considera el nacimiento histórico de la industria de los rodamientos. El camino del éxito de INA empezó en 1949 con el desarrollo del Dr. Georg Schaeffler de la corona de agujas, un invento genial que contribuyó al reconocimiento industrial y al nacimiento del rodamiento de agujas. Con sus dos fuertes marcas, INA y FAG, el Grupo Schaeffler Industrial dispone actualmente, no sólo de una gama importante en el ámbito de los rodamientos, sino también de productos y servicios de calidad únicos, gracias a la investigación y al desarrollo conjunto.

Hace más de 25 años que INA y FAG desarrollan y fabrican rodamientos para

aerogeneradores. En el Grupo Schaeffler Industrial, los especialistas del sector de la “energía eólica” colaboran estrechamente con los responsables de diseño, fabricación y explotación de parques eólicos. Creemos que el know-how generado durante todos estos años carece de competencia en el mercado. Ya desde la fase de inicio del proyecto, se tiene en cuenta hasta el último detalle de las especificaciones del cliente. Nuestros exigentes métodos de cálculo ayudan en la selección de los rodamientos y en la elaboración de la documentación. Se aplican productos técnicamente optimizados, que se ajustan perfectamente a la función requerida. Los sistemas de Condition Monitoring, los lubricantes, las herramientas de montaje y los aparatos

de mantenimiento complementan el programa de suministro. El Grupo Schaeffler Industrial contribuye, de esta manera, a una reducción de los costes de explotación de los parques eólicos.

### Las competencias clave

- Un amplio programa, unos diseños específicos de rodamientos para múltiples aplicaciones y una actualización intensiva de los productos
- Un asesoramiento realizado por ingenieros experimentados
- Una consideración óptima de las especificaciones del cliente
- Unos sofisticados programas de cálculo, como BEARINX®, para seleccionar el producto que mejor se adapta a las necesidades del cliente
- Un amplio servicio para el funcionamiento, que incluye los análisis detallados
- Un sistema de Condition Monitoring reconocido por la compañía de seguros Allianz
- Unos programas de formación, generales y específicos, adaptados a las necesidades del cliente
- Una política de calidad y medioambiental, de aplicación obligatoria a nivel mundial (ISO 9000/QS 9000, ISO/TS 16949:2002, ISO 14001).



## Todo de una sola fuente Amplia oferta para aerogeneradores



Eje del rotor: unas concepciones de rodamientos probadas y potentes



El rodamiento adecuado para cada multiplicadora



Mayor duración de vida útil de los rodamientos de los aerogeneradores, gracias a su aislamiento eléctrico



Sistema de control del viento y ajuste de las palas: los rodamientos aseguran la movilidad a largo plazo

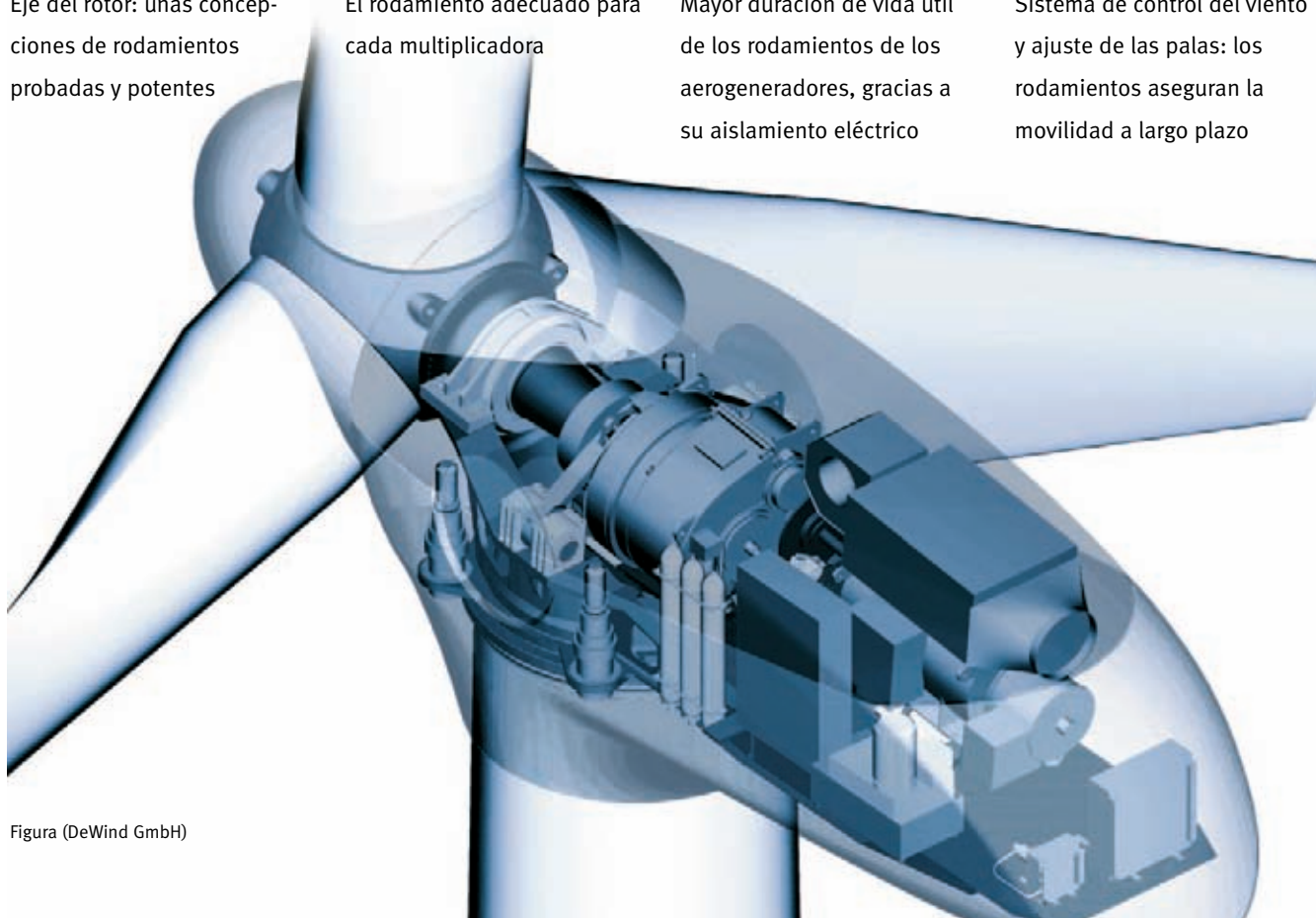


Figura (DeWind GmbH)



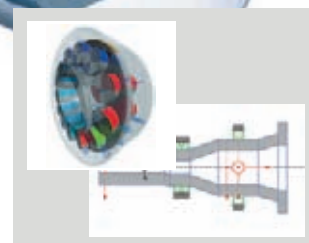
Monitorización remota y diagnóstico



Montaje y mantenimiento

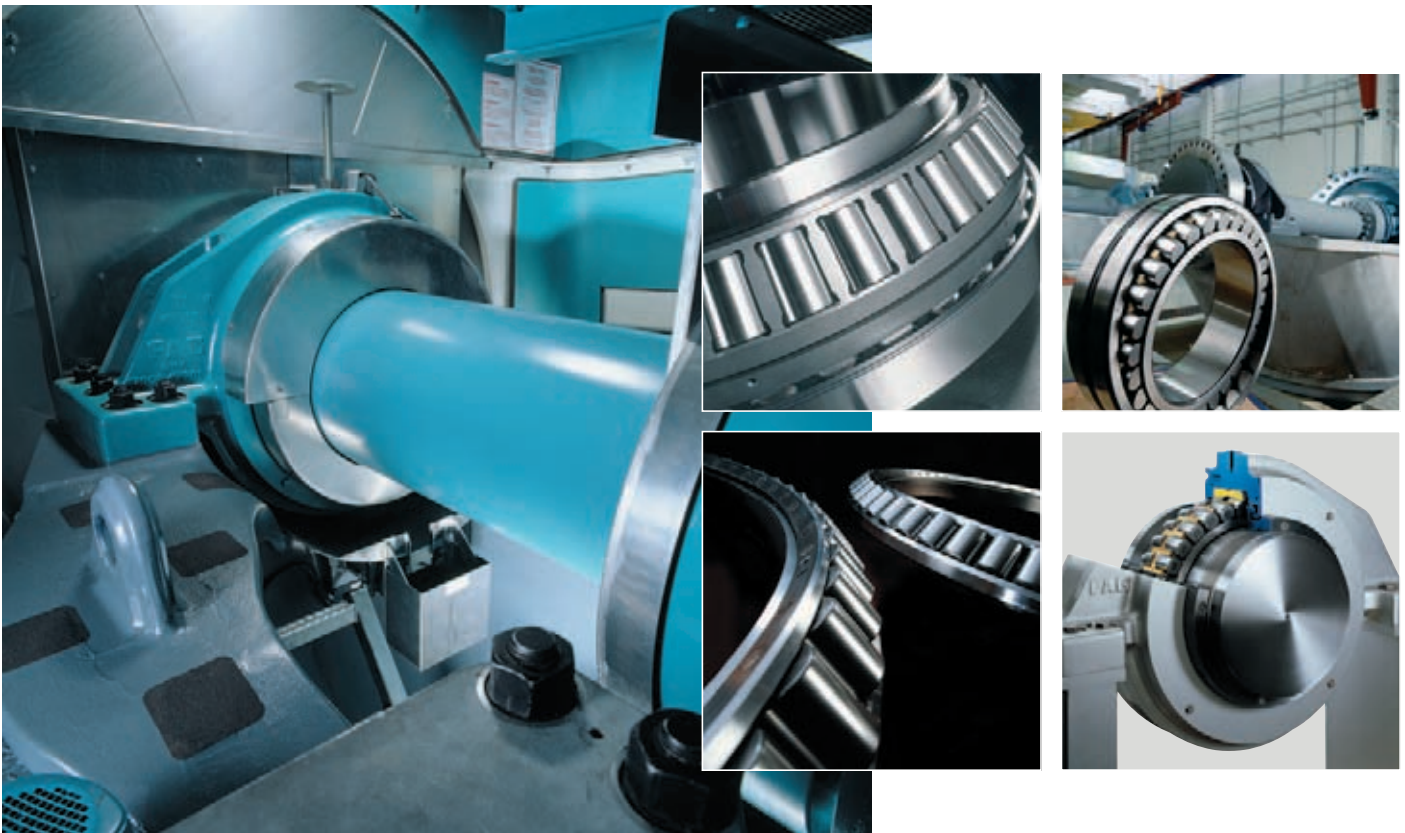


La lubricación de los rodamientos es importante para su duración de servicio



Conocimientos centrados en un diseño competente de los rodamientos

## Concepciones de rodamientos probadas y potentes para el eje del rotor



Los apoyos del eje del rotor tienen una importancia crucial en el aerogenerador, ya que sobre ellos actúan todas las fuerzas y momentos generados por el viento. Los rodamientos están expuestos a unas cargas y a unas condiciones de servicio altamente dinámicas. Los ingenieros del Grupo Schaeffler Industrial desarrollan y seleccionan, conjuntamente con los clientes, el rodamiento más adecuado. En el tren de transmisión de las instalaciones modernas, desde 220 kW hasta las actuales de muchos megavatios, encontramos por todo el mundo los rodamientos de escaso rozamiento de INA y FAG.

### Los apoyos del eje

La solución clásica y probada en múltiples aplicaciones son apoyos fijo-libre con rodamientos oscilantes de rodillos, rodamientos de rodillos cilíndricos o rodamientos de rodillos cónicos.

### El apoyo del buje

Como variante de apoyo, se han dispuesto dos rodamientos de rodillos cónicos. El apoyo alternativo fijo-libre está formado por un rodamiento de rodillos cónicos y un rodamiento de rodillos cilíndricos, apareados.

### El concepto de un solo rodamiento

Este tipo de diseño combina la absorción de fuerzas y momentos en un solo roda-

miento, de varias hileras. La ejecución del apoyo como rodamiento de rodillos cónicos, de dos hileras, es válida según las condiciones de aplicación. Ello es válido también para las dimensiones: los grandes rodamientos tienen unas dimensiones de más de 400 mm de ancho y de más de 3.000 mm de diámetro exterior.

### Los soportes del rotor

Los soportes con rodamiento, que han sido calculados con los métodos más modernos, garantizan la mejor absorción posible de las fuerzas y momentos. Casi siempre se realizan los desarrollos específicos del cliente y se adaptan los soportes óptimamente al rodamiento seleccionado.

# El rodamiento adecuado para cada multiplicadora



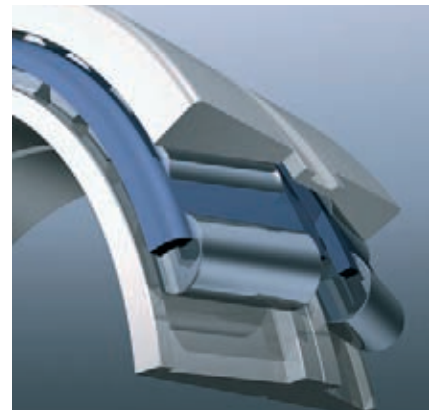
El incremento constante de megavatios requiere unas multiplicadoras cada vez mayores y más potentes. Sin embargo, no se pueden comparar las condiciones de servicio de los rodamientos en multiplicadoras para aerogeneradores, con las de las cajas de engranajes estacionarias o reductores. La tecnología de los rodamientos debe responder con éxito a unos retos importantes, como son las fuerzas altamente dinámicas, con cargas extremas máximas y mínimas, los cambios súbitos de las cargas y unas temperaturas de funcionamiento que pueden variar de forma importante. En estas condiciones, son una respuesta adecuada los rodamientos que presentan una elevada seguridad estática y un diseño dinámico seguro, según unas directrices internacio-



nales de diseño, como AGMA 6006-A03. Se han utilizado los siguientes rodamientos de INA y FAG: rodamientos de rodillos cónicos, rodamientos de rodillos cilíndricos con jaula, rodamientos de rodillos cilíndricos sin jaula, rodamientos oscilantes de rodillos, rodamientos rígidos a bolas y rodamientos con cuatro puntos de contacto.

## Nuevos cálculos de simulación

La deformación del cárter de la multiplicadora puede suponer una carga adicional para los rodamientos. Las cargas punta pueden resultar también de las maniobras de frenado u otras influencias de la unidad de control del aerogenerador. Los nuevos cálculos de simulación respecto al comportamiento dinámico del tren de trans-



misión, permiten precisar los modelos de carga y complementar los modelos utilizados hasta ahora, derivados de analogías y mediciones.

## Mayor seguridad de funcionamiento y rentabilidad, con las unidades de rodamientos de rodillos cónicos

Las unidades de rodamientos de rodillos cónicos para los ejes de alta velocidad de la multiplicadora, permiten un montaje rápido y sin errores y reducen los gastos logísticos. El ajuste del juego de los rodamientos se efectúa mediante unos anillos intermedios adaptados. Gracias al efecto de los distintos ángulos de contacto de las hileras de los rodamientos, es posible optimizar la distribución de las cargas y el rozamiento.

### La calidad tiene un nombre: X-life

X-life representa la gama de productos Premium de INA y FAG. Son productos con una vida útil más larga, que superan ampliamente los parámetros hasta ahora conocidos.

- Las propiedades mejoradas de los

productos, las soluciones individuales y las soluciones de sistema, con una clara reducción en el nivel de ruidos, la menor necesidad de mantenimiento y las mayores capacidades de carga, superan los requisitos establecidos

- Mejor relación calidad/precio

- Programas de formación, desde el montaje y el desmontaje, hasta la selección correcta y el suministro de lubricante adecuado

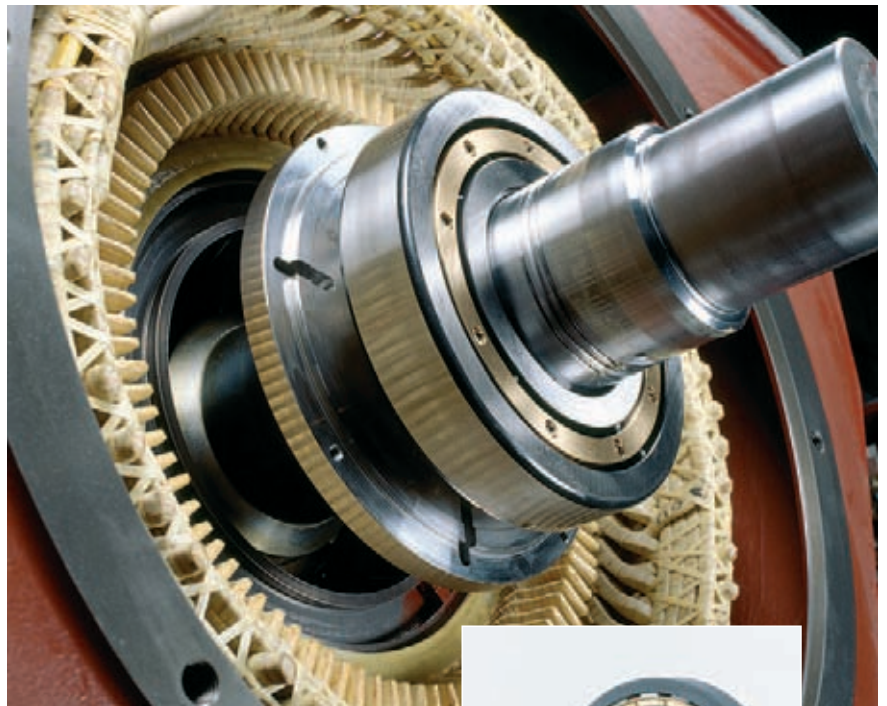


## Mayor vida útil gracias al aislamiento eléctrico

El generador que funciona en el interior de la góndola de un aerogenerador está expuesto, en comparación con un generador en tierra, a unos efectos vibratorios claramente superiores. Estas cargas adicionales y continuas, tienen un efecto especialmente negativo en las jaulas de los rodamientos y, además, someten al lubricante a esfuerzos elevados. Al diseñar un rodamiento para el generador, no sólo tiene gran importancia el número de revoluciones, el tamaño y la forma constructiva. También hay que hacer especial hincapié en la lubricación y en la protección contra una posible descarga de corriente. Para los apoyos de un generador se suelen utilizar dos rodamientos rígidos a bolas o un rodamiento de rodillos cilíndricos con otro rodamiento rígido a bolas.

### Aislamiento eléctrico en los rodamientos para generadores

Una descarga de corriente en el generador de un aerogenerador puede causar daños graves, en forma de cráteres de fusión y formación de estrías, en las pistas de rodadura de los anillos de los rodamientos, lo cual puede significar elevados costes de reparación. Por este motivo es aconsejable adoptar medidas preventivas, ya en la fase de proyecto, que ayuden a impedir este tipo de daños y pérdidas y que contribuyan a ahorrar gastos. En muchos casos, es suficiente montar rodamientos con aislamiento eléctrico. Estos rodamientos están disponibles, por un lado, con los anillos del rodamiento con



una capa aislante y, por otro lado, con rodamientos híbridos que tienen elementos rodantes de cerámica. La capa de aislamiento eléctrico, altamente resistente al desgaste, está formada por cerámica oxidada y protege contra una descarga eléctrica de hasta 1.000 voltios de tensión disruptiva, incluso en un ambiente con humedad. Los rodamientos híbridos con elementos rodantes de cerámica, incluso permiten valores superiores. Un efecto adicional, cuando se utilizan los rodamientos híbridos, es prolongar la duración de vida de la grasa. Son especialmente indicados para altas velocidades y tienen unas características muy apropiadas para el funcionamiento de emergencia. La aplicación de las dos variantes se desarrolla según las especificaciones de los clientes.



Gracias a las dimensiones exteriores idénticas, es posible sustituir en cualquier momento un rodamiento convencional por un rodamiento con aislamiento eléctrico.

# Sistema seguidor del viento y ajuste de las palas

## Movilidad a largo plazo

Los aerogeneradores están obligados, igual que los veleros, a adaptar su orientación a la dirección del viento, para evitar las cargas máximas y funcionar de forma rentable.

### Accionamiento azimutal

Los moto-reductores y los accionamientos del regulador convierten, de forma sensible y duradera, las señales procedentes de la unidad de mando, con ayuda de los rodamientos de INA y FAG.

El Grupo Schaeffler Industrial ofrece, de una sola fuente, los rodamientos para los dispositivos de orientación necesarios para el ajuste de la góndola:

Eje de accionamiento – Rodamientos rígidos a bolas

Planetas – Rodamientos de rodillos cilíndricos, sin jaula

Eje conducido – Rodamientos de rodillos cilíndricos, rodamientos oscilantes de rodillos, rodamientos de rodillos cónicos

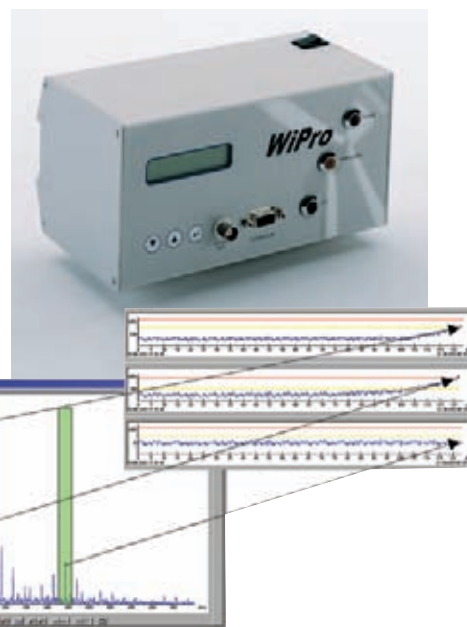
### Ajuste de las palas

El ajuste del ángulo de las palas del rotor se efectúa mediante accionamientos eléctricos o hidráulicos. Para esta aplicación se utilizan casquillos deslizantes con el material ELGOGLIDE®,

obturados, que no requieren mantenimiento. El recubrimiento Corrotect® protege contra la corrosión.



## Monitorización remota y diagnóstico



La monitorización permanente de los rodamientos de un aerogenerador que está sometido a unas condiciones de servicio muy duras, es una condición básica para mejorar su rentabilidad. Para INA y FAG, son los expertos y los profesionales de la empresa de servicios independiente FAG Industrial Services GmbH (F'IS) los que se hacen cargo de esta tarea.

### Condition Monitoring online con el sistema WiPro de FAG

Condition Monitoring online, la monitorización continua de los rodamientos en los aerogeneradores

- evita las paradas no planificadas
- detecta daños incipientes en una etapa muy temprana
- controla continuamente el estado de los componentes
- desconecta la instalación en caso de emergencia, si se han programado previamente determinadas alarmas

- impide daños colaterales y secuenciales
- protege tanto los aerogeneradores individuales como los parques eólicos completos.

El sistema WiPro (Wind Turbine Protection System), adaptado a las necesidades de las empresas generadoras de energía eólica, mide principalmente las vibraciones y monitoriza también el par de accionamiento, la temperatura, la calidad del aceite y otros parámetros. La disposición de los sensores en los puntos críticos de la góndola, se rige según las condiciones individuales del aerogenerador. Cuando se alcanzan unos valores umbrales, previamente establecidos, se activa una alarma y los datos son transferidos automáticamente al Centro de Servicio F'IS a través de la red de telefonía fija, por radiotransmisión o por módem de satélite. Tras un análisis detallado de los datos y un diagnóstico en profundidad, los expertos de F'IS proponen medidas concretas al cliente, con las

que se podrán evitar paradas no planificadas en la instalación y los costosos daños correspondientes, además de aumentar la seguridad de planificación y la posibilidad de organizar la sustitución de componentes con antelación y de forma planificada. Sólo la combinación entre un sistema y un asesoramiento, y un servicio fiable y competente, pueden garantizar unos resultados seguros.

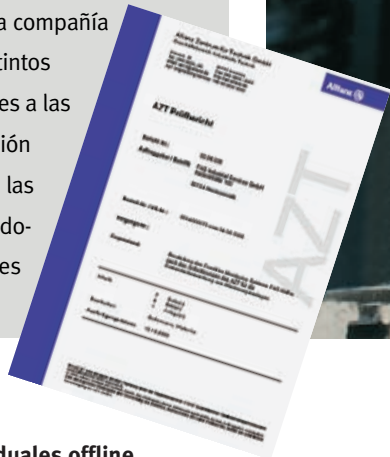
Tras un examen exhaustivo, la empresa de seguros Allianz Versicherungs-AG ha reconocido el sistema WiPro. Otras compañías de seguros ya han tomado nota de ello y conceden unas condiciones más favorables cuando el cliente utiliza el sistema WiPro. Asimismo, este sistema y la central de monitorización de F'IS han sido certificados por Germanische Lloyd. No supone ningún problema equipar posteriormente los aerogeneradores de cualquier tipo con el sistema WiPro.



## Montaje y mantenimiento

### La compañía de seguros premia el sistema WiPro

La compañía de seguros Allianz Versicherungs-AG ha confirmado a F'IS que el sistema de Condition Monitoring online WiPro cumple los requisitos establecidos por el Centro Técnico de Allianz (Allianz Zentrum für Technik – AZT) para instalaciones eólicas. Con ello, Allianz considera el sistema WiPro un sistema adecuado para un mantenimiento orientado al estado de los componentes. Como consecuencia de este reconocimiento, la compañía podrá llegar a distintos acuerdos referentes a las cláusulas de revisión en las pólizas con las empresas explotadoras de instalaciones eólicas.



### Mediciones individuales offline

F'IS ofrece la medición individual de los datos de vibraciones y temperaturas mediante unos aparatos móviles de diagnóstico, como entrada alternativa en el mundo de la monitorización de las instalaciones. Este método, por ejemplo en forma de una medición semestral, a realizar en los componentes de una máquina, con el posterior diagnóstico y análisis, suele constituir, pese a las limitaciones conocidas, una alternativa económica que algunas compañías de seguros la aceptan como condición previa a la contratación de una póliza.

Un amplio programa de herramientas de montaje y alineación, instrumentos de medición y lubricantes, facilita los trabajos de mantenimiento y ayuda a configurar procesos de trabajo de mayor eficacia. Gracias a sus amplias experiencias con FAG y su equipo de especialistas, F'IS es el socio competente para las soluciones orientadas al cliente. La elaboración de unas estrategias individuales de servicio y los cursillos de formación orientados a la práctica, proporcionan mayor seguridad.

Cuando se requiere una implicación personal, los técnicos e ingenieros, altamente cualificados, ayudan in situ, si es necesario, en un plazo muy corto. La reparación de rodamientos ofrecida por F'IS contribuye de forma importante a asegurar la disponibilidad permanente, gracias a los cortos plazos de entrega. Este servicio se presta para los rodamientos de todas las marcas.

[infofis@schaeffler.com](mailto:infofis@schaeffler.com)

[www.fis-services.es](http://www.fis-services.es)

## Importante para la duración de servicio



Además del diseño bien concebido y de la ejecución precisa desde el punto de vista técnico de la fabricación, la lubricación influye de forma importante en la fiabilidad y en el tiempo de servicio de un rodamiento. La elección de la grasa adecuada, la capacidad de rendimiento del aceite, el efecto de los aditivos, la limpieza en cuanto a las impurezas, y el cumplimiento de los períodos de reengrase definidos, también inciden en la calidad del sistema.

### Grasa

Se utilizan las grasas especiales Arcanol para los rodamientos principales y para los rodamientos de las multiplicadoras de los aerogeneradores. Estas grasas, que han sido desarrolladas en colaboración con prestigiosos fabricantes de lubricantes, han estado sometidas a amplias

series de ensayos, antes de su homologación. De esta forma, ofrecen una calidad constante muy elevada y unas características óptimas de lubricación. El programa de F'IS ofrece diversos engrasadores de la serie Motion Guard, que abastecen los puntos de rodadura con la cantidad adecuada de grasa nueva. En función del sistema de lubricación, es posible ajustar unos períodos de reengrase entre 1 día y 24 meses, en hasta 6 puntos de lubricación. Con ello se reduce la carga de trabajo del personal y se aumenta la seguridad de los rodamientos instalados.

Las ventajas:

- un proceso completamente automático que apenas requiere mantenimiento
- unas cantidades exactas de grasa, sin suministro excesivo ni deficiente

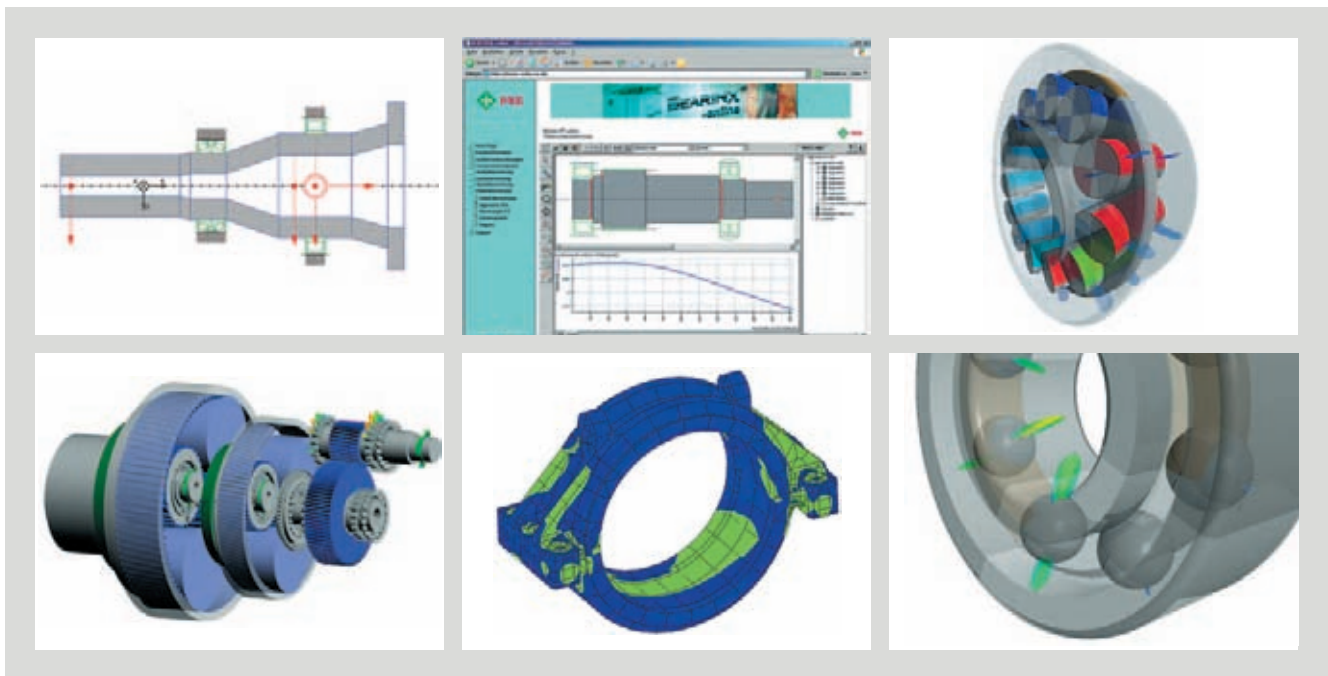
- una duración de vida prolongada de los rodamientos
- una mayor rentabilidad, gracias a una dosificación moderada y compatible con el medio ambiente

### Aceite

Una lubricación por circulación de aceite, con filtro, ofrece el mejor suministro posible a los puntos que precisan lubricación.

Cuando se monitoriza el estado de unos valores característicos tan importantes del aceite, como la temperatura de servicio, la contaminación, el contenido de agua y la viscosidad, también se debería incluir el filtro.

## Conocimientos concentrados para un diseño competente de los rodamientos



### BEARINX®

El software BEARINX® brinda la posibilidad de seleccionar y calcular todos los tipos de rodamientos, los ejes completos, así como los sistemas de ejes, hasta los reductores completos. Se calculan y se pueden representar en forma de tablas y gráficos, las reacciones en los apoyos, las cargas internas en los rodamientos, las tensiones comparativas de los ejes, así como los valores característicos más importantes. Gracias al programa BEARINX® es posible representar los esfuerzos, teniendo en cuenta la flexión del eje y el comportamiento elástico de los rodamientos. El cálculo, muy preciso, incluye también la distribución interna

de las cargas, hasta la presión de contacto, teniendo en cuenta el perfil de los elementos rodantes. BEARINX® determina la duración de vida, calculada con mayor precisión que la conocida hasta ahora.

### BEARINX®-online

Con BEARINX® -online ofrecemos a nuestros clientes la posibilidad de realizar, desde su puesto de trabajo, el cálculo de un sistema de ejes complejo, con varios puntos de apoyo. Los archivos de entrada utilizados por BEARINX® -online son plenamente compatibles con BEARINX®. De esta manera, se facilita considerablemente la comunicación entre el cliente y nuestros ingenieros de aplicación.

### FEM

Para unos análisis más detallados, es posible determinar la influencia de la construcción anexa sobre el rodamiento y viceversa, utilizando los cálculos FEM.

### CABA

El software MKS CABA3D permite efectuar un análisis dinámico de los rodamientos. Teniendo en cuenta todos los grados de libertad, se determinan los recorridos de fuerzas y movimientos de los elementos rodantes y de los anillos y se obtienen resultados (p. ej. la potencia de rozamiento) para cada unidad de tiempo. Con CABA3D es posible, entre otros, calcular la potencia de rozamiento transferida y el comportamiento de aceleración de los elementos rodantes al entrar en la zona de carga.

**Schaeffler Iberia, s.l.**

Polígono Pont Reixat

08960 Sant Just Desvern · Barcelona

Tel. +34/93/4 80 34 10

Fax +34/93/3 72 92 50

E-Mail [marketing.es@schaeffler.com](mailto:marketing.es@schaeffler.com)

Internet [www.schaeffler.es](http://www.schaeffler.es)

Todos los datos se han confeccionado y analizado cuidadosamente. Sin embargo, no nos hacemos responsables de posibles datos erróneos o incompletos. Debido al constante desarrollo, nos reservamos el derecho a efectuar modificaciones.

© by Schaeffler KG · Julio de 2006

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción, total o parcial, sin nuestra autorización.