

## COMPRENDER LA FIABILIDAD FUERA DE GARANTÍA

UNA NUEVA INVESTIGACIÓN DE WIND ENERGY UPDATE EN COLABORACIÓN CON WIND ENERGY BENCHMARKING SERVICES (WEBS) SOBRE LA FIABILIDAD DE AEROGENERADORES, HA ENCONTRADO QUE LAS TURBINAS DFIM TIENEN LOS TIEMPOS DE REPARACIÓN MÁS LARGOS POR FALLO. LA INVESTIGACIÓN CONSIDERÓ MILES DE AÑOS DE DATOS OPERACIONALES, COMBINADOS PARA DIFERENTES POTENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE AEROGENERADORES. AL MEDIR EL TIEMPO HASTA EL FALLO Y EL TIEMPO DE REPARACIÓN POR FALLO, LA INVESTIGACIÓN PROPORCIONA UNA VISIÓN DE VANGUARDIA SOBRE LA FIABILIDAD Y EL RENDIMIENTO DE LOS AEROGENERADORES. LA PARTICIPACIÓN EN UN PROGRAMA DE EVALUACIÓN COMPARATIVA ES FUNDAMENTAL PARA PERMITIR EL ACCESO A DATOS DE FIABILIDAD Y RENDIMIENTO, EL INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS SOBRE LAS MEJORES PRÁCTICAS Y LAS NORMAS DE APLICACIÓN EN TODO EL SECTOR. ESTO YA ESTÁ AUMENTANDO LA CONFIANZA DE LOS INVERSORES EN EL SECTOR EÓLICO, AL REDUCIR EL COSTE NORMALIZADO DE LA ENERGÍA. SIN FUERTES CAPACIDADES DE EVALUACIÓN COMPARATIVA, VISIONES COMO ÉSTAS SON MÁS DIFÍCILES DE DETECTAR Y LOS GESTORES DE ACTIVOS SE PERDERÁN LOS BENEFICIOS DE LA MAYOR FIABILIDAD Y LA PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO DIRIGIDO, QUE LA EVALUACIÓN COMPARATIVA PUEDE OFRECER.

### Panorama de la OyM eólicos en el período post-garantía

El panorama de la OyM ha sufrido cambios considerables en los últimos años. Propietarios, operadores y productores independientes de energía (IPPs, por sus siglas en inglés) examinan cada vez más opciones de OyM, a medida que sus activos alcanzan el final de la garantía. Un reciente informe de GCube señaló que alrededor de 1/3 de todos los aerogeneradores se acercan final de los acuerdos de servicio de OyM. Operadores, gestores de activos y responsables de las operaciones generales del proyecto, están evaluando el valor de los contratos de mantenimiento de proveedores independientes de servicios (ISP, por sus siglas en inglés). A menudo se cita el coste como un asunto importante al seleccionar un ISP o la opción del paquete de fin de garantía del fabricante original del equipo. En un momento en que se reducen los subsidios y se registran precios bajos en las subastas, el coste es cada vez más significativo, una tendencia que se espera continúe durante los próximos 3-5 años.

Navigant Research ha señalado que las garantías han expirado en más del 50% de la potencia eólica mundial. Make Consulting predice que el mercado global de OyM crecerá de 9.700 M\$ en 2015 a 19.300 M\$ en 2021. Esta tendencia prevalece particularmente en EE.UU, IHS Energy Research pronostica que el gasto en OyM en EE.UU. casi se duplicará hasta 6.000 M\$ en 2025, como resultado directo del número de aerogeneradores que concluyen sus períodos de garantía.

Este entorno se ha complicado aún más por la actividad de fusiones y adquisiciones en los últimos años. La adquisición de Upwind por 60 M\$ por parte de Vestas en 2015, ya le ha permitido ganar contratos de servicio eólico para 1,75 GW de aerogeneradores GE para Berkshire Hathaway. Esto es de particular importancia dado el poder adquisitivo de Berkshire Hathaway, y muestra que incluso aquellos con los bolsillos más profundos, están evaluando el coste como un factor importante en la OyM de parques eólicos. Vestas ha hecho nuevas incursiones en este sector, con la adquisición por 88 M€ de la empresa alemana de mantenimiento de aerogeneradores Availon a principios de 2016. La adquisición por 2,9 M€ de B9 Energy por parte de Gamesa en 2015, le ha permitido hacer ofertas para aerogene-



Foto cortesía Ingeteam Service  
Photo courtesy of Ingeteam Service

## UNDERSTANDING OUT-OF-WARRANTY RELIABILITY

NEW RESEARCH INTO TURBINE RELIABILITY FROM WIND ENERGY UPDATE IN PARTNERSHIP WITH WIND ENERGY BENCHMARKING SERVICES (WEBS) HAS FOUND DFIM TURBINES HAVE THE LONGEST REPAIR TIMES PER FAILURE. THE RESEARCH TOOK THOUSANDS OF YEARS OF COMBINED OPERATIONAL DATA FOR DIFFERENT GENERATION CAPACITIES AND TURBINE TECHNOLOGIES. BY MEASURING THE TIME TO FAILURE AND THE REPAIR TIME PER FAILURE, THE RESEARCH PROVIDES A CUTTING-EDGE INSIGHT INTO TURBINE RELIABILITY AND PERFORMANCE. PARTICIPATION IN A BENCHMARKING PROGRAMME IS CRITICAL TO ENABLE ACCESS TO RELIABILITY AND PERFORMANCE DATA, KNOWLEDGE SHARING OF BEST PRACTICES AND THE IMPLEMENTATION OF SECTOR-WIDE STANDARDS. THIS IS ALREADY INCREASING INVESTOR CONFIDENCE IN THE WIND SECTOR BY REDUCING THE LEVELISED COST OF ENERGY. WITHOUT STRONG BENCHMARKING CAPABILITIES, INSIGHTS SUCH AS THIS ARE HARDER TO DETECT AND ASSET MANAGERS WILL MISS OUT ON THE BENEFITS OF GREATER RELIABILITY AND TARGETED MAINTENANCE PLANNING, WHICH BENCHMARKING CAN OFFER.

### The post-warranty wind O&M landscape

The O&M landscape has undergone considerable changes in recent years. Owner, operators and IPPs are increasingly examining a range of O&M options as their assets reach end-of-warranty. A recent report by GCube noted that around 1/3 of all wind turbines are nearing the end of O&M service agreements. Operators, asset managers and those responsible for overall project operations are now assessing the value of independent service provider (ISP) maintenance contracts. Cost is often cited as an important issue when selecting an ISP or the OEM end-of-warranty package option. At a time of decreasing subsidies and record low auction prices, cost is increasingly significant, a trend expected to continue over the next 3-5 years.

Navigant Research has noted that warranties have now expired on over 50% of the global installed turbine capacity. Make Consulting predict that the global O&M market is set to grow from \$9.7bn in 2015 to \$19.3bn by 2021. This trend is particularly prevalent in the USA. IHS Energy Research forecast US O&M spending will almost double to \$6bn by 2025 as a direct result of the number of turbines coming out of warranty.

This space has been further complicated by some of the M&A activity in recent years. The \$60m acquisition of Upwind by Vestas in 2015 has already enabled it to win wind service contracts for 1.75 GW of GE turbines for Berkshire Hathaway. This is of particular significance given the purchasing power of Berkshire Hathaway and shows that even those with the deepest pockets are assessing cost as a major factor in wind farm O&M. Vestas has made further inroads into this sector with the €88m acquisition of German turbine servicing firm Availon in early 2016. Gamesa's €2.6m acquisition of B9 Energy in 2015 has allowed it to bid on rival turbines in the UK and Ireland. Utilities have been doing this for years; Duke

radores de sus competidores en Reino Unido e Irlanda. Las empresas eléctricas han estado haciendo esto durante años; Duke Energy adquirió Outland Energy Services en 2005 con el fin de atender su flota existente y ganar más de 300 MW de licitaciones por activos que no son de su propiedad. En 2016, Duke Energy unió fuerzas con Siemens para combinar sus divisiones de servicio.

## Resultados de la investigación

La investigación estudia cuatro tecnologías clave de aerogeneradores, observadas durante los últimos 20 años: concepto danés, resistencia variable, DFIM (máquina de inducción doblemente alimentada) y accionamiento directo.

Las figuras 1 muestran respectivamente el tiempo hasta el fallo (MTTF, por sus siglas en inglés) y el tiempo de reparación del fallo (MTTR, por sus siglas en inglés) para todos los tipos de tecnología. Los análisis iniciales de todas las tecnologías de aerogeneradores proporcionan una tendencia base. Se observa una mejora inicial en la fiabilidad post-garantía con el alargamiento del MTTF y el acortamiento del MTTR en el año 6, lo que indica fallos menos frecuentes y menos complejos. Sin embargo, aunque el MTTF permanece relativamente estable en los siguientes años, el MTTR se incrementa cada año a lo largo de los años 7, 8 y 9, lo que sugiere una ocurrencia creciente de fallos complejos, que lleva más tiempo reparar que la media. Esto está seguido de un descenso dramático del MTTR en el año 10, lo que sugiere que la mayoría de los fallos más complejos se han abordado al final del año 9.

Comparando las diferentes tecnologías de aerogeneradores de menos de 1 MW. El MTTF de las máquinas de accionamiento directo es consistentemente más bajo que el de las máquinas de concepto danés y de resistencia variable del mismo tamaño, lo que a la inversa significa que están fallando con más frecuencia. Esto va en contra del argumento de que estas máquinas deberían ser más fiables debido a la falta de multiplicadora. La tecnología de peor rendimiento en términos de MTTF son los aerogeneradores DFIM, que típicamente experimentan un MTTF de alrededor de la mitad de la tecnología de mejor rendimiento año tras año.

La tendencia de la fiabilidad de las máquinas DFIM se mantiene cuando comparamos el MTTR. Después de la garantía, el MTTR los aerogeneradores DFIM muestra un aumento dramático al doble que cualquier otra tecnología, llegando a tres veces más que otras tecnologías para el año 10. En comparación, los operadores de aerogeneradores DFIM se enfrentan más frecuentemente a interrupciones forzadas fuera de garantía, que luego tardan mucho más en repararse. Esto se convierte en un factor importante en la indisponibilidad debido a paradas forzadas.

Figura 1. MTTF de todas las tecnologías  
Figure 1: MTTF of all technologies

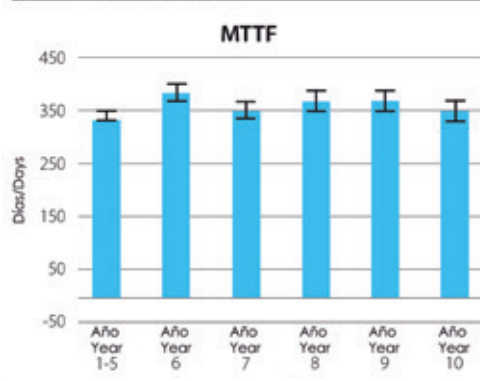
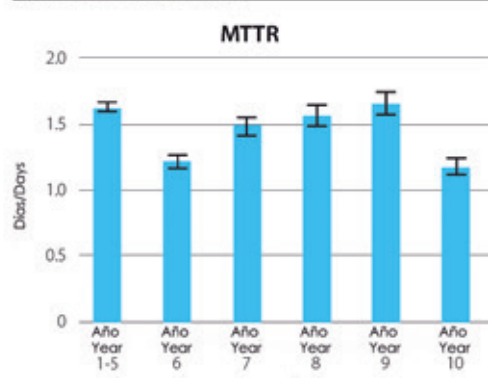


Figura 1. MTTR de todas las tecnologías  
Figure 1: MTTR of all technologies



Energy acquired Outland Energy Services in 2005 in order to service its existing fleet and win in excess of 300 MW of tenders for non-owned assets. In 2016, Duke Energy joined forces with Siemens to combine their service divisions.

## Research results

This research examines four key turbine technologies observed over the last 20 years: Danish Concept, Variable Resistance, DFIM (doubly-fed induction machine) and Direct Drive.

Figures 1 show the mean time to failure (MTTF) and the mean time to repair (MTTR) respectively for all technology types. Initial analysis of all turbine technologies provides a baseline trend. An initial improvement is observed in reliability post-warranty with the MTTF lengthening and MTTR shortening in year 6, indicating less frequent and less complex failures. However, while the MTTF remains relatively stable in subsequent years, the MTTR increases each year through years 7, 8 and 9, suggesting the occurrence of increasingly complex failures that take longer on average to repair. This is followed by a dramatic decrease in MTTR in year 10, which suggests that the majority of more complex failures have been addressed by the end of year 9.

Comparing the different <1 MW turbine technologies side by side. The MTTF of the Direct Drive machines is consistently lower than the Danish Concept and Variable Resistance machines of the same size, which conversely means they are failing more frequently. This runs counter to the argument that these machines should be more reliable due to the lack of a gearbox. The worst performing technology in terms of MTTF

Figura 2. Comparación del MTTF para tecnologías de aerogeneradores de potencia > o = 1 MW  
Figure 2. MTTF comparison of > or = 1 MW wind turbine technologies

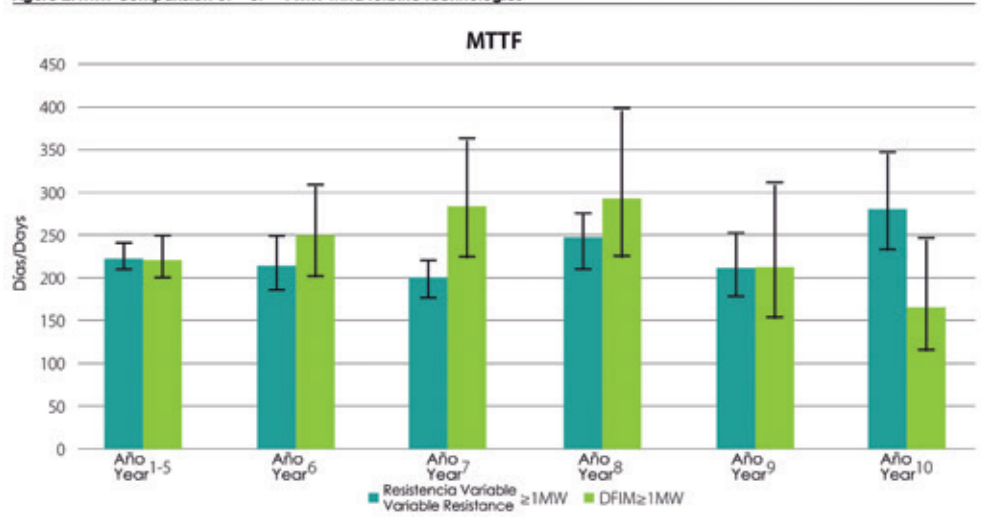
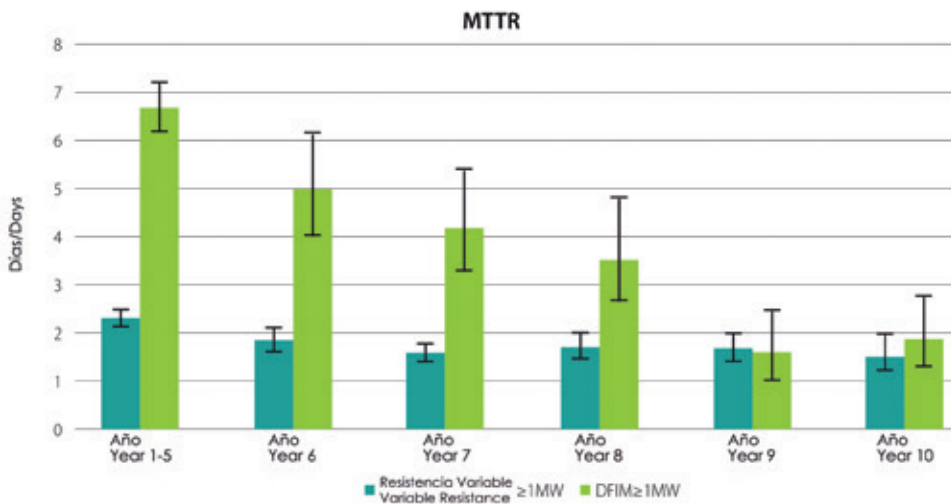


Figura 3. Comparación del MTTR para tecnologías de aerogeneradores de potencia  $\geq 1$  MW  
 Figure 3. MTTR comparison of  $\geq 1$  MW wind turbine technologies



Al comparar el MTTF de aerogeneradores de potencia igual o superior a 1 MW, sólo tenemos dos tecnologías disponibles para la comparación (Figura 2). No surgen tendencias claras sobre el MTTF cuando se comparan las dos tecnologías, sin embargo el MTTF para aerogeneradores de resistencia variable tiene un rango más bajo cada año que para los DFIM. Esto indica una mayor previsibilidad de los fallos de los aerogeneradores de resistencia variable, lo que ayuda a la planificación de la OyM. El año 10 es una excepción, ya que el rango de las estimaciones de fallos en los aerogeneradores de resistencia variable aumenta significativamente en este año.

Al comparar el MTTR de las mismas dos tecnologías para aerogeneradores de más de 1 MW (Figura 3), se observa una tendencia mucho más clara. Los aerogeneradores de resistencia variable tienen un MTTR significativamente menor que los DFIM de más de 1 MW. Los aerogeneradores de resistencia variable también muestran MTTRs relativamente consistentes, con baja varianza asociada a las estimaciones, mientras que los DFIM muestran de nuevo una mayor varianza, que se suma al argumento de que sufren tendencias de fallos menos predecibles. Ambas tecnologías demuestran una reducción significativa del MTTR durante los primeros 10 años de operación. Mientras que esto ocurre a mayor escala para los aerogeneradores DFIM, los de resistencia variable también exhiben esta tendencia, lo que es bueno para los operadores propietarios del proyecto y los gestores de activos, pues esto significa reparaciones menos severas, y menos costosas a medida que la tecnología madura.

Cada tipo de tecnología y agrupación por potencia nominal demuestra una amplia variedad de tendencias diferentes después de la garantía. Algunos aerogeneradores, especialmente los de resistencia variable de potencia igual o superior a 1 MW, parecen estar mejorando continuamente en los primeros cinco años después de la garantía. Otros, como los de tecnología DFIM de menos de 1 MW, parecen estar disminuyendo constantemente, particularmente con respecto al MTTR. Las máquinas de concepto danés y de resistencia variable de menos de 1 MW, muestran antes una mejora inicial, invirtiendo y volviendo a los niveles de garantía en el año 10 de operación.

Los resultados muestran que el intento de predecir el rendimiento de los aerogeneradores basado en un MTTF o MTTR constante es probable que conduzca a graves errores en la estrategia de OyM y de gestión de activos. Estos errores, especialmente en lo que respecta al despliegue efectivo de mano de obra y la gestión de inventarios de repuestos, tienen el potencial de aumentar el gasto en mantenimiento de aerogeneradores, a menos que se identifiquen y corrijan temprano.

are DFIM turbines, typically experiencing an MTTF of around half of the best performing technology year on year.

The DFIM reliability trend is sustained when we compare the MTTR of the turbines side by side. Not only are the DFIM turbines experiencing much lower MTTFs than other technologies, but post-warranty, the MTTR shows a dramatic increase to twice as long as any other technology, rising to three times as long as the other technologies by year 10. In comparison, operators of DFIM turbines are faced with out-of-warranty forced

outages on a more frequent basis, which then take far longer to repair. This becomes a major factor in unavailability due to forced outages.

When comparing the MTTF of  $\geq 1$  MW turbines, we only have two technologies available for comparison (Figure 2). No clear trends on MTTF emerge when comparing the two technologies, however the MTTF for Variable Resistance turbines has a lower range every year than the DFIM turbines. This indicates more predictability to the failures of Variable Resistance turbines, which aids O&M planning and inventory management. Year 10 is an exception, as the range of the estimates for failures on Variable Resistance turbines increases significantly in this year.

When comparing the MTTR of the same two technologies for larger  $>1$  MW turbines, a much clearer trend is observed (Figure 3). Variable Resistance turbines have a significantly lower MTTR than  $>1$  MW DFIM turbines. Variable Resistance turbines also demonstrate relatively consistent MTTRs with low variance associated with estimates, while DFIM turbines again show a higher variance adding to the argument that these turbines suffer from less predictable failure trends. Both turbine technologies demonstrate a significant reduction of MTTR over the first 10 years of operation. While this occurs for the DFIM turbines on a larger scale, the Variable Resistance turbines also display this trend, which is a good thing for project owner operators and asset managers as this means less severe, and less costly, repairs as the turbine technology matures.

Each turbine technology type and nameplate capacity grouping demonstrates a wide variety of different trends post-warranty. Some turbines, most notably the  $\geq 1$  MW Variable Resistance turbines, appear to be continuously improving in the first five years post-warranty. Other turbines, such as the  $<1$  MW DFIM technology, appear to be steadily declining, particularly with respect to MTTR. Turbines such as the  $<1$  MW Danish Concept and  $<1$  MW Variable Resistance machines, show an initial improvement before then, reversing and reverting to in-warranty levels by year 10 of operation.

The results show that attempting to predict turbine performance based on an assumed constant MTTF or MTTR is likely to lead to severe errors in O&M strategy and asset management. These errors, particularly regarding the effective deployment of labour and spares inventory management, have the potential to compound into increased expenditure in fixing and maintaining turbines unless identified and corrected early.