

MANTENIMIENTO EÓLICO PREDICTIVO BASADO EN DRONES. LA IMPORTANCIA DEL CORRECTO PROCESADO DE DATOS

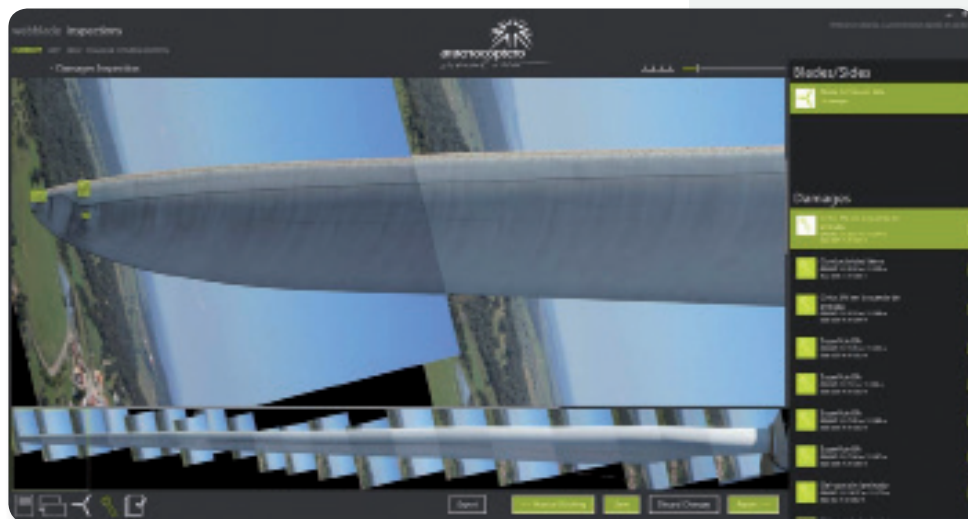
EL MANTENIMIENTO DE LAS PALAS DE LOS AEROGENERADORES ES UNA PRÁCTICA IMPRESCINDIBLE PARA GARANTIZAR SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO A LO LARGO DE SU VIDA ÚTIL. UNA INSPECCIÓN RIGUROSA Y DETECCIÓN TEMPRANA DE DEFECTOS PERMITEN GENERAR PROCESOS EFICIENTES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, QUE REDUCIRÁN LA INCIDENCIA DE SINIESTROS CATASTRÓFICOS EN LOS AEROGENERADORES POR FALLOS EN LAS PALAS. LA INDUSTRIA EÓLICA DEMUESTRA INTERÉS EN APLICAR NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR ESTOS PROCESOS, LO QUE INCLUYE EL EMPLEO DE SISTEMAS AÉREOS REMOTAMENTE PILOTADOS SARP. LA EXPERIENCIA DE APLICACIÓN EN LA INSPECCIÓN DE PALAS PERMITE EXTRAER CONCLUSIONES VALIOSAS SOBRE LAS POSIBILIDADES PRESENTES Y FUTURAS DE ESTAS TECNOLOGÍAS EN EL SECTOR EÓLICO.

El empleo de grandes aerogeneradores se expande rápidamente en base al precio de la energía, las consideraciones ambientales y la eficacia creciente de estas máquinas. Los aerogeneradores en el rango 1-3 MW, montan una configuración tripala, estándar en esta industria, de 30 a 50 m de longitud, si bien la industria eólica tiende a su sustitución por máquinas cada vez más grandes y eficientes, que montando palas de hasta 80 m de longitud, pueden alcanzar 7 MW.

Las palas de los aerogeneradores son elementos de diseño sofisticado que presentan complejas curvaturas. Basadas en estructuras multicapa de grosor variable, están construidas con materiales anisotrópicos, en su mayor parte en forma de composite, con refuerzos en ocasiones de otros materiales como madera. Estos elementos son diseñados para operar un mínimo de 20 años. Sin embargo, en la práctica surgen dificultades: las palas se encuentran sometidas a desgastes, impactos de partículas que arrastra el viento y en ocasiones fuertes tensiones y torsiones. Esto origina una serie compleja de defectos, variables en función del diseño de la pala, su modelo e incluso número de serie, ya que las diferencias en su proceso de fabricación y características de los materiales o diseños son muy variables.

El análisis de defectos de las palas es una disciplina compleja que requiere de una gran experiencia y conocimientos profundos de los procesos de diseño y fabricación de estas estructuras.

Los programas de mantenimiento predictivo de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos de aerogeneradores son habituales



Ejemplo de mapeo en espectro visible de palas realizado con la plataforma Web Blade@ de Arborea Intellbird a partir de datos tomados con dron Aracnoctero. Example of visible spectrum mapping of the blades undertaken using Arborea Intellbird's Web Blade@ platform based on data recorded using the Aracnoctero drone.

DRONE-BASED PREDICTIVE WIND POWER MAINTENANCE. THE IMPORTANCE OF CORRECT DATA PROCESSING

THE MAINTENANCE OF WIND TURBINE BLADES IS AN ESSENTIAL PRACTICE TO GUARANTEE THEIR CORRECT OPERATION THROUGHOUT THEIR USEFUL LIFE. RIGOROUS INSPECTION AND EARLY DETECTION OF DEFECTS GENERATE EFFICIENT PREDICTIVE MAINTENANCE PROCESSES THAT REDUCE THE OCCURRENCE OF CATASTROPHIC DAMAGE TO WIND TURBINES AS A RESULT OF FAULTS IN THE BLADES. THE WIND POWER INDUSTRY IS ALWAYS INTERESTED IN THE APPLICATION OF NEW TECHNOLOGIES TO IMPROVE THESE PROCESSES, INCLUDING THE USE OF REMOTELY PILOTED AIRBORNE SYSTEMS (RPAS). THE EXPERIENCE GAINED THROUGH THEIR APPLICATION TO BLADE INSPECTIONS HAS PROVIDED VALUABLE CONCLUSIONS REGARDING THE PRESENT AND FUTURE POSSIBILITIES OF THESE TECHNOLOGIES IN THE WIND POWER SECTOR.

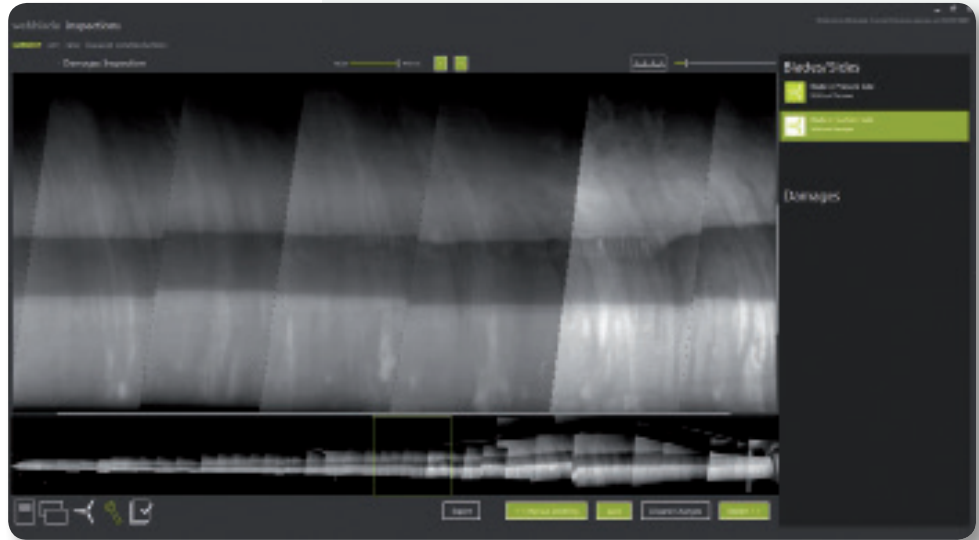
The use of large wind turbines is expanding rapidly due to the price of energy, environmental considerations and the growing efficacy of these machines. Wind turbines in the 1-3 MW range, have an industry standard three-bladed configuration some 30 to 50 metres long. However the wind power industry is leaning towards replacing them with increasingly bigger and more efficient machines that have blades up to 80 metres long, achieving outputs of 7 MW.

Wind turbine blades have a sophisticated design with complex curvatures. Based on variable thickness multi-layer structures, they are constructed from anisotropic materials, mainly in a composite format and sometimes reinforced with other materials such as wood. These elements are designed to operate for a minimum of 20 years. However, difficulties emerge in practice: the blades are subject to wear and tear, impacts from wind-borne particles and at times, heavy stress loads and flexing. This gives rise to a complex series of defects that vary depending on the blade design, its model and even the serial number, given the wide range of differences in their manufacturing process and the characteristics of the materials and designs used.

A defects analysis of the blades is a complex discipline that requires a high level of experience and in-depth knowledge of the design and manufacturing processes of these structures.

Predictive maintenance programmes for the mechanical, electric and electronic components of wind turbines are commonplace in the wind sector, however in the case of the blades that are undoubtedly one of the most critical components, there is still no widespread programme in place. The sudden appearance of catastrophic damage to the blades is a not frequent occurrence, however when it happens, the consequences are extremely serious.

Ejemplo de mapeo en espectro térmico de palas realizado con la plataforma Web Blade® de Arborea Intellbird a partir de datos tomados con dron Aracnoptero. *Example of thermal spectrum mapping of the blades undertaken using Arborea Intellbird's Web Blade® platform based on data recorded using the Aracnoptero drone.*



en el sector eólico, mientras que en el caso de las palas, que son sin duda uno de los componentes más críticos, no existe aún un esquema extendido. La aparición súbita de daños catastróficos en las palas, no es frecuente, si bien cuando tienen lugar son muy graves.

Actualmente el sector industrial eólico avanza en la mejora de procedimientos para generar un potencial mantenimiento predictivo de las palas, que permita establecer programas de reparación temprana a bajo coste, centrados sobre la identificación de defectos en sus primeros estadios, con objeto de evitar grandes siniestros.

Inspección de palas con SARP, primeros pasos

En 2010 la industria eólica española propuso a Arborea Intellbird la creación de una plataforma SARP multirrotor específica para inspección de palas de aerogeneradores. El sistema se desarrolló a partir de la plataforma Aracnoptero, cuyo diseño comenzó en 2008. En 2012 se presentó el SARP Aracnoptero EOL6.

Arborea Intellbird es pionera en la fabricación, operación y formación de pilotos de SARP destinados a inspección de aerogeneradores. Estos sistemas prestan servicio a algunos de los mayores promotores eólicos mundiales, procesando las inspecciones con software propio. Sus más de 5 años de experiencia en este campo permiten extraer conclusiones sobre la adaptación de los SARP a los requisitos de la industria eólica.

Actualmente son muchas las compañías que testan sistemas SARP para la inspección de palas y muchas las que ofrecen servicios de fotografía aérea desde SARP a los promotores eólicos. Sin embargo, el procedimiento dista mucho en la actualidad de encontrarse implantado o estandarizado.

Enfoque

Para valorar las posibles ventajas que aporta la tecnología SARP a la inspección de palas, se hace necesario por un lado conocer las necesidades del sector y por otro las soluciones que aporta el mercado; sus diferencias y ventajas.

La tendencia actual en el sector eólico es optimizar los procesos de mantenimiento reduciendo al máximo los costes por aerogenerador, especialmente en aquellos procesos que pueden considerarse rutinarios. Es habitual en esta industria la asignación de unos montos fijos muy ajustados al mantenimiento por máquina, que implican revisión y mantenimiento de todos aquellos componentes que lo requieren, que son muchos.

A los cuadros eléctricos, multiplicadoras, ascensores, sistemas de aceite, control electrónico o mecanismos diversos de seguridad se suman las palas. Considerando el número de elementos a mantener y el ajustado presupuesto para ello, no es aplicable

The industrial wind sector is currently making progress to improve procedures to generate a predictive maintenance potential of the blades that will allow early repair, low cost programmes to be established. Such programmes are focused on identifying faults in their earliest stages in order to avoid the occurrence of major incidents.

Blade inspections via RPAS: the first steps

In 2010 the Spanish wind power industry asked Arborea Intellbird to create a specific multi-rotor RPAS platform to inspect wind turbine blades. The system was developed based on the Aracnoptero platform whose design started in 2008. The RPAS EOL6 Aracnoptero drone was launched in 2012.

Arborea Intellbird is a pioneer in the manufacturing, operation and training of RPAS pilots designed for wind turbine inspection. These systems provide a service to some of the world's leading wind farm developers, processing inspections using in-house software. With over 5 years of experience in this field, the company has been able to extract conclusions regarding the adaptation of RPASs to meet the needs of the wind power industry.

There are currently many companies that are testing RPAS systems for the inspection of blades as well as many others that offer aerial photography services via RPASs to wind farm developers. However, the procedure is currently a long way from being implemented or standardised.

Approach

To evaluate the possible advantages that RPAS technology contributes to blades inspection, it is necessary to understand both the needs of the sector and the solutions offered by the market; their differences and advantages.

The current trend in the wind power sector is to optimise maintenance processes to reduce the cost per wind turbine as much as possible, especially in processes that are considered as routine. In this industry fixed amounts are usually allocated to just cover the maintenance per machine, which involves the overhaul and maintenance of every component as required, which are many. In addition to the blades themselves, switchboards, multipliers, lifts, oil systems, electronic control systems and a range of security mechanisms all need



Aracnóptero TF mapeando una pala. Foto C. Bernabéu
Aracnóptero TF mapping a blade. Photo C. Bernabéu

como máxima general ningún procedimiento de inspección que aun siendo óptimo, exceda de unos costes operativos muy ajustados.

Partiendo de esta máxima se analiza un segundo principio, en este caso relativo a la aplicación civil industrial del sector SARP, que sostiene que no suele ser viable emplear tecnología aérea para sustituir aquello que puede hacerse desde tierra de forma barata, segura y exitosa, salvo que se superen estos tres parámetros desde el aire, lo cual suele ser un complejo desafío.

Necesidades del sector

La industria eólica demanda informes técnicos motivados que detecten con precisión, analicen, diagnostiquen las patologías y emitan recomendaciones concisas ajustadas a los principios de economía y prudencia. Datos que permitan establecer un esquema de mantenimiento predictivo. Esto que puede parecer simple, dista mucho de serlo. Las consecuencias de un defecto detectado en una pala pueden variar en función del proceso de fabricación, del modelo e incluso de la serie. El diagnóstico de defectos de palas es una tarea de alto nivel técnico, que requiere experiencia y un profundo conocimiento histórico de este producto tan especializado y extraordinariamente diverso.

Actualmente, la industria eólica cuenta con procedimientos bien testados para la detección de daños en las palas de los aerogeneradores que, cuando son aplicados correctamente, aportan buenos resultados, entre ellos se encuentran:

- Inspecciones de proximidad basadas en: descuelgue de técnicos con cuerdas, descuelgue de técnicos con ascensores motorizados, auxiliados de poleas y cableado, empleo de plataformas elevadoras.
- Inspección a distancia empleando medios ópticos terrestres: telescopios, teleobjetivos.

attention. Taking into account the number of elements to be maintained and the limited budget for this work, as a general rule, no inspection procedure takes place that goes beyond these very tight operational costs, despite being optimal.

Based on this premise, a second principle is analysed which in this case concerns the civil industrial application of the RPAS sector that maintains that it is not usually feasible to use aerial technology to replace what can be done from ground level cheaply, safely and successfully, unless these three parameters can be overcome from the air, which would represent a complex challenge.

Sector requirements

The wind power industry requires justified technical reports that accurately detect, analyse and diagnose pathologies and issue precise recommendations that are in line with the principles of economy and prudence. Data that facilitates the creation of a predictive maintenance plan. Despite this seeming to be a simple objective, it is far from being so. The consequences of a defect detected in a blade can vary depending on the manufacturing process, the model and even the series. Blade defect diagnosis is an extremely technical task that requires experience and an in-depth historical knowledge of this specialist and extraordinarily diverse product.

The wind industry has well-tested procedures in place for the detection of damage to wind turbine blades that, when correctly applied, offer good results. These include:

- Close-up inspections based on: lifting technicians via ropes, via motorised lifts, aided by pulleys and cabling, the use of platform lifts.
- Remote inspection using ground-level optical mediums such as telescopes, telephoto lenses.

Drone-based inspection (RPAS)

This innovative approach offers advantages compared to lifting methods in terms of safety. Its downtime is generally no more than that of the telescope however it can never be competitive in terms of costs or logistics. Today, the operation of a RPAS system, even in the case of the highly efficient small multi-rotors currently available, requires a greater investment and involves more complexity than a simple telescope. Its advantages lie in the possibility of obtaining improved images of the defects, however this is not always the case as it depends on the sensor used. For example the telescope easily surpasses video photographs in terms of quality.

Unlike all the other methods, including the telescope, operation via RPAS does not currently offer inspectors real time visualisation of the damage with a sufficiently high level of quality while the aircraft is carrying out the inspection. The most sophisticated wireless video transmission mechanisms offer lower resolutions compared to the quality of the image obtained with a telescope. The reception of this signal in the field and its correct visualisation on screen or via special glasses

Doble inspección simultánea en máquinas de Iberdrola. Foto C. Bernabéu
 Dual simultaneous inspection of Iberdrola machines. Photo C. Bernabéu

Inspección basada en drones (SARP)

Este método novedoso plantea ventajas en relación a los descuelgues en los aspectos de seguridad. No supera generalmente en tiempo de parada al telescopio y en ningún caso lo mejora en aspectos de costes o logística. Actualmente la operación de un sistema SARP, aún en el caso de los tan eficientes pequeños multirrotores actuales, requiere de una mayor inversión y reviste de mayor complejidad que un simple telescopio. Sus ventajas frente a este último estriban en la posibilidad de obtención de mejores imágenes de los defectos, si bien esto no siempre es así, ya que depende del sensor empleado. Por ejemplo el telescopio supera ampliamente en calidad a los fotogramas de vídeo.

Al contrario de lo que ocurre con el resto de métodos, incluido el telescopio, la operación con SARP no permite actualmente la visualización en tiempo real de los daños por los inspectores con una gran calidad, mientras la aeronave realiza la inspección. Los mecanismos de transmisión inalámbrica de vídeo más sofisticados, aportan resoluciones inferiores a la calidad de imagen obtenida con un telescopio. La recepción de esta señal en campo y su correcta visualización en pantalla o gafas específicas, empleadas bajo el sol no es sencilla. Como resultado de esto surgen dificultades para detectar con eficacia los daños más sutiles desde tierra en tiempo real, mientras se opera la aeronave.

Algunas compañías ofrecen operaciones que involucran a un piloto centrado en el vuelo y a un copiloto inspector experimentado en palas, que visualiza las imágenes emitidas por la aeronave y toma fotos, dando órdenes al piloto en el caso de localizar algo. Esto dobla el personal necesario en relación al telescopio. Al inconveniente de la moderada resolución de lo recibido en tierra, subsiste el problema de la autonomía de vuelo del SARP, que actualmente es un factor limitante. Para realizar una supervisión rigurosa en tiempo real, el piloto ha de operar deteniéndose o volviendo atrás, siguiendo las órdenes del inspector. Empleando esta modalidad de inspección en tiempo real, la operación aérea se ralentiza y los costes de la misma se disparan. Considerando los límites de la muy extendida propulsión eléctrica de los SARP, se requerirán diversos cambios de batería por inspección. El procedimiento necesitará generalmente además de una operación de rotación de palas.

Otra modalidad de inspección basada en SARP consiste en la toma de vídeo continuo o secuencias de imágenes de la pala completa para su posterior revisión. En el caso del vídeo, la resolución no supera a la obtenida con telescopio. Por el contrario, el empleo de cámaras fotográficas profesionales de última generación, que aúnan sensores y lentes de gran tamaño y calidad, con la ventaja de ser posicionados a pocos metros de la pala, permite la obtención de imágenes inigualables. En ambos casos el ángulo y proximidad de las cámaras ofrecen considerables ventajas en relación a lo que permite el telescopio, y en el caso de los SARP las secuencias son repetibles. Además de un mejor detalle de los defectos, el resultado es una mayor profundidad de campo en el encuadre. Los sensores descritos son pesados y han de ser adecuadamente estabilizados en vuelo.

Realizar un análisis posterior, basado en las imágenes o vídeo captados in situ de la totalidad de la superficie del aerogenerador implica el procesado de una ingente cantidad de datos, multiplicando el esfuerzo de inspección. La cantidad de información obtenida en



when used in full sunshine is no simple matter. As a result, difficulties emerge when the time comes to efficiently identify the slightest damage from ground level in real time, while the aircraft is operating.

Some companies offer operations that involve a pilot focusing on the flight and a co-pilot inspector with experience in blades to view the images emitted by the aircraft and take photos, giving instructions to the pilot in the event something is spotted. This doubles the required personnel compared to the telescope. In addition to the drawback of the average resolution of the images received at ground level, there is the problem of the flight range of the RPAS, which is currently a limiting factor. To undertake an exhaustive review in real time, the pilot has to operate the aircraft stopping it or reversing, depending on the instructions given by the inspector. By using this inspection format in real time, the aerial operation slows down, making its costs sky-rocket. Taking into account the limitations of the RPAS electric propulsion, a number of battery changes are required per inspection. This procedure moreover usually requires the blades to be rotating.

Another RPAS-based inspection format consists of recording continuous video or a sequence of images of the entire blade for subsequent scrutiny. In the case of video, the resolution is no better than that obtained from the telescope. By contrast, the use of latest generation professional cameras that combine sensors with large size, high quality lenses, with the advantage that they can be positioned just a few metres from the blade, produce unparalleled images. In both cases the angle and proximity of the cameras offer considerable advantages over the results provided by the telescope and in the case of the RPASs, the sequences can be repeated. In addition to an enhanced detail of the defects, the result gives an increased depth of field in the frame. Such sensors are heavy and require the appropriate level of stabilisation when flying.

Undertaking a subsequent analysis, based on the images or video captured in situ of the entire surface area of the wind turbine involves processing a massive quantity of data,

una inspección con SARP de las palas de un aerogenerador, tomando imágenes de toda la superficie con cámaras réflex de alta resolución puede oscilar entre los 5 y 10 GB de datos por máquina.

Este notable incremento de información ha de ser filtrado y analizado, lo que supone multiplicar el número de horas/técnico asociadas a la inspección. Como se ha mencionado, la detección y categorización de defectos en palas es un trabajo de ingeniería especializado. Analizar minuciosamente cientos de fotografías de alta resolución de cada aerogenerador, no es un proceso viable pues vulnera la primera máxima de economía en el procedimiento de inspección, expuesta al inicio de este artículo.

Estos inconvenientes están conduciendo a la falta de penetración de estas modalidades de tecnología SARP como procedimiento de inspección, por parte de las grandes compañías eólicas, que tras probar estas tecnologías directamente mediante la adquisición de sistemas o de la mano de empresas de imagen aérea SARP comprueban que, en lo que a costes se refiere, el remedio es peor en algunos casos que la enfermedad.

Otra limitación de esta tecnología es la referente al marco legal, que se encuentra en vías de evolución, pero actualmente varía de un país a otro, lo que requiere una capacitación y alta especialización de los pilotos. Esto dificulta la operación directa por personal de la industria eólica.

Las principales ventajas de la tecnología SARP estriban en sus posibilidades para aportar mediciones multisensoriales y generar datos repetibles de alta calidad.

El desafío del procesado

La mayoría de los métodos de inspección de palas de aerogeneradores se basan en la generación de una inspección in situ, la decisión sobre que defectos reseñar y documentar, queda a criterio técnico del inspector. Esto implica la necesidad de trasladar sobre el terreno a un inspector cualificado, que de otro modo tendría que revisar gran cantidad de fotografías o extensos videos en gabinete, generando una duplicación del esfuerzo de inspección.

Esta información puede ser gestionada mediante plataformas de software, con objeto de automatizar la gestión de algunos datos del proceso de inspección para trasladarlo fuera del campo. Esto plantea considerables ventajas incrementando el rigor y objetividad de la inspección. Este tipo de plataformas se están aplicando para gestionar información obtenida mediante SARP, como el software Web Blade® de Arborea Intellbird que genera mapeos completos de pala en diversos espectros, midiendo y posicionando los daños con precisión, incluso aquellos no visibles como deficiencias en las líneas de pegado. Esta tecnología disruptiva está actualmente en proceso de implantación en Iberdrola y otras grandes empresas del sector.

Por otra parte, empiezan a aparecer también soluciones basadas en visión artificial, que buscan un diagnóstico de defectos automático. La complejidad de diagnóstico de defectología en base a los muy diversos parámetros en juego -un defecto no tiene la misma importancia en todas las palas-, reduce la utilidad real del reconocimiento automático. El ojo experimentado del ingeniero certificador es una garantía ineludible para la industria eólica hoy por hoy.

multiplying the resources required for the inspection. The amount of information obtained during a RPAS inspection of the wind turbine blades, taking images of the entire surface area using high resolution reflex cameras can vary between 5 and 10 GB of data per machine.

This marked increase in information has to be filtered and analysed, resulting in a multiplication in the number of technical hours associated with the inspection. As already mentioned, the detection and classification of defects in blades is the work of a specialist engineer. A minute analysis of hundreds of high resolution photographs of each wind turbine is not a viable process as it goes against the first maxim of economy in the inspection process, as indicated at the start of this article.

These drawbacks mean a lack of deployment of these forms of RPAS technology as an inspection procedure on the part of large wind power companies that, having directly tested these technologies by purchasing systems or via RPAS aerial imaging entities, have found that in some cases, as regards the costs involved, the cure is worse than the disease.

Another limitation of this technology refers to the legal framework which is currently evolving but which varies from one country to another, necessitating a high level of pilot training and specialisation. This is hampering its direct operation by wind industry personnel.

The main advantages of RPAS technology lie in its ability to contribute multi-sensor measurements and generate high quality repeatable data.

The challenge of data processing

Most of the inspection methods for wind turbine blades are based on the inspection taking place in situ, with the decision regarding which defects need highlighting and documenting left to the technical discretion of the inspector. This involves transferring a qualified inspector to the site, otherwise they would have to revise a large quantity of photographs or long videos in their office, thereby duplicating the inspection work involved.

This information can be managed via software platforms that aim to automate the management of some of the inspection process data for transfer off site. This offers significant advantages by enhancing the rigor and objectivity of the inspection. This type of platforms are being applied to manage information obtained via RPASs, such as the Web Blade® software from Arborea Intellbird that generates a comprehensive mapping of the blade from different spectrums, accurately measuring and positioning the damage, and even defects that are not visible such as deficiencies in the bonding lines. This disruptive technology is currently in the process of being implemented at Iberdrola and other large companies in the sector.

Furthermore, solutions based on artificial sight are starting to emerge that aim to achieve automatic defect diagnosis. The complexity of defect diagnostics stems from the multitude of diverse parameters in play, given that one defect does not have the same impact on every blade, thereby reducing the actual usefulness of automatic recognition. The experienced eye of the certifying engineer is an indispensable guarantee for the wind power industry of today.



Carlos Bernabéu

Presidente y CEO/ Arborea Intellbird
President and CEO of Arborea Intellbird