

CORROSIÓN EN INSTALACIONES RENOVABLES MARINAS: UN DESAFÍO Y UNA OPORTUNIDAD

EL PROYECTO NESSIE, FINANCIADO POR LA UE, TIENE EL OBJETIVO DE PONER EN MARCHA ENTRE CONSORCIOS PARA DESARROLLAR PROYECTOS DEMOSTRATIVOS DE SOLUCIONES CONTRA LA CORROSIÓN EN INSTALACIONES DE APROVECHAMIENTO DE RENOVABLES MARINAS EN EL MAR DEL NORTE. EL PROYECTO SURGE DEL TRABAJO DE LOS SOCIOS DEL PILOTO EN ENERGÍA DE LA INICIATIVA EUROPEA VANGUARD (VI), QUE PERSIGUE CONVERTIR A LA UE EN LÍDER MUNDIAL EN FABRICACIÓN DE COMPONENTES PARA INSTALACIONES DE ENERGÍA MARINA. ESTE ARTÍCULO RESUME ALGUNOS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO MULTIDISCIPLINAR LLEVADO A CABO EN EL PROYECTO.

NeSSIE está impulsando la transferencia de las mejores prácticas y tecnologías en el campo de las soluciones anticorrosión, aprovechando las capacidades industriales de las regiones participantes, abarcando desde las cadenas de valor más maduras hasta pymes de sectores emergentes. Busca convertir los desafíos de la corrosión en la industria de las renovables marinas en aplicaciones industriales y oportunidades comerciales, a través de la cooperación estratégica en la cadena de valor.

Para alcanzar este ambicioso objetivo, el proyecto ha lanzado una Convocatoria de Retos para conectar a los desarrolladores de proyectos con empresas innovadoras de la cadena de suministro de soluciones en toda Europa. Esta convocatoria se ha estructurado en dos pasos. El primero consistió en la apertura de un proceso de exposición de los problemas en el ámbito de la corrosión o retos, por parte de empresas con instalaciones renovables en el Mar del Norte. En el segundo paso, empresas proveedoras de servicios propusieron posibles soluciones a dichos problemas.

En el primer paso, fueron seleccionados tres propietarios de instalaciones marinas (SSE, Atlantis y EMEC) que solicitaban posibles soluciones a la corrosión y/o al uso de nuevos materiales. Uno de ellos operador de parques eólicos marinos, otro de plantas de corrientes marinas y el tercero de dispositivos de aprovechamiento de olas.

Como paso previo a esta convocatoria, en el proyecto se desarrolló una hoja de ruta sobre los desafíos que presentan los sistemas anticorrosión, y se identificaron oportunidades de mercado.

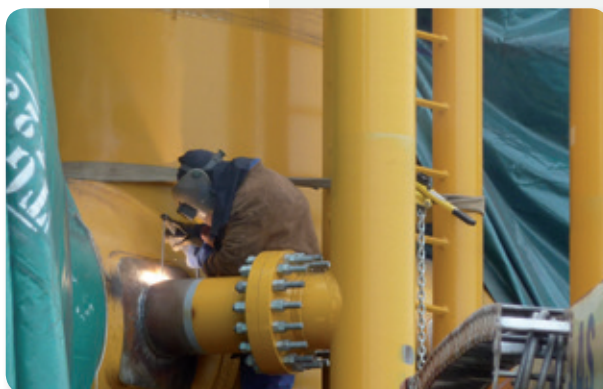
Energías renovables marinas

Según las proyecciones actuales de la demanda mundial de electricidad, ésta seguirá siendo la forma de energía final de mayor crecimiento en todo el mundo, con un crecimiento anual del 2,1% para el período 2012-2040. El sistema energético mundial necesita descarbonizarse. Para ello, la UE proyecta un mix de generación de energía primaria en 2050 dividido equitativamente entre fuentes fósiles y no fósiles, llegando para esa misma fecha a las cero emisiones de CO₂ en el sector eléctrico. En este escenario, se estima que las renovables marinas jugarán un papel importante; en 2050 el 20% de la eólica será marina, impulsada por decisiones políticas y económicas⁽¹⁾.

Los desafíos del mercado para que las renovables marinas alcancen o aumenten su potencial de implantación son variados, y se basan

CORROSION IN OFFSHORE RENEWABLES INSTALLATIONS: A CHALLENGE AND AN OPPORTUNITY

THE AIM OF THE EU-FUNDED NESSIE PROJECT IS TO ENCOURAGE CONSORTIA TO DEVELOP DEMO PROJECTS TO FIND ANTI-CORROSION SOLUTIONS FOR OFFSHORE RENEWABLES INSTALLATIONS IN THE NORTH SEA. THE PROJECT BUILDS ON THE WORK OF THE PARTNERS OF THE ENERGY PILOT ACTION OF EUROPE'S VANGUARD INITIATIVE (VI) WHICH FOCUSES ON MAKING THE EU THE GLOBAL LEADER IN MANUFACTURING COMPONENTS FOR OFFSHORE ENERGY APPLICATIONS. THIS ARTICLE SUMMARISES SOME OF THE RESULTS OF A MULTIDISCIPLINARY STUDY UNDERTAKEN AS PART OF THE PROJECT.



NeSSIE is boosting a flow of best practices and technologies in the field of anti-corrosion solutions, taking advantage of the industrial capacities of the participating regions, encompassing both the more mature value chains and SMEs in emerging sectors. The aim is to transform the challenges of corrosion in the Offshore Renewable Energy (ORE) industry into

industrial applications and business opportunities, via strategic cooperation throughout the value chain.

To achieve this ambitious objective, the project launched a Competition Call process to bring together project developers and innovators in the solutions supply chain from all over Europe. The call was structured into two steps: the first comprised opening a process to identify the challenges of corrosion that was implemented by companies with renewables installations in the North Sea. In the second step, service providers proposed possible solutions to these issues.

The first stage of the call selected three project developers: Scottish and Southern Energy (SSE), Simec Atlantis Energy and the European Marine Energy Centre (EMEC), all of which had requested possible solutions to corrosion and/or the use of new materials in their difference fields of operation, respectively: offshore wind turbines; tidal turbines; and systems for the wave sector.

As an initial stage prior to the call, the project developed a roadmap on the challenges present in anti-corrosion system to identify market opportunities.

Offshore renewable energies

According to current projections for world electricity demand, electricity is set to remain the fastest growing final form of energy worldwide, growing by 2.1% per year over the period 2012-2040. The world's energy system needs to decarbonise. The EU projects a primary energy mix by 2050 split equally between fossil and non-fossil sources, achieving zero CO₂ emissions for the electricity sector by that same date. In this scenario, ORE is estimated to play a major role: 20% of the wind energy will be offshore by 2050, driven by both political and economic factors⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Energy Transition Outlook, DNV-GL, 2018

en la combinación de desafíos técnicos y no técnicos.

La Agenda de Investigación Estratégica para la Energía Oceánica, con la participación de más de 200 expertos y profesionales de 150 organizaciones de la UE, ha definido los desafíos prioritarios para el sector de las renovables marinas, habiendo identificado hasta 14 prioridades. La fiabilidad y capacidad de supervivencia del dispositivo es una de estas prioridades.

La vida útil de los dispositivos depende de los materiales, componentes y sistemas utilizados, así como de los programas de mantenimiento. Una gran parte de los costes de operación y mantenimiento, entre el 15 y el 30% del coste total del ciclo de vida de un parque eólico marino, se debe a las piezas de repuesto sustituidas por problemas de corrosión en estructuras metálicas.

Los dispositivos deben ser compatibles con el entorno marino y resistentes a entornos hostiles, incluyendo:

- Corrosión (acelerada por la presencia de cloruros y microorganismos en el agua de mar).
- Cargas físicas e impacto.
- Exposición a la radiación UV.
- Temperaturas extremas bajo cero.
- Crecimiento marino y biofouling.
- Excrementos de aves (pueden degradar químicamente los recubrimientos).
- Desarrollo, caracterización, mejora y uso de materiales, tratamientos de metales y tecnologías de monitorización; son fundamentales para que los dispositivos puedan sobrevivir y ser fiables.

Problemas de corrosión en estructuras eólicas marinas

El análisis que se presenta a continuación, está realizado en base a un estudio de las publicaciones existentes sobre este tema y diversas entrevistas con expertos de la industria, por lo que no debe considerarse como un informe exhaustivo.

Se distingue entre estructuras de acero primarias y secundarias. El acero primario incluye componentes estructurales como la cimentación y la torre, cuyo fallo podría amenazar la integridad de toda la estructura. Las estructuras de acero secundarias son componentes importantes, pero cuyo fallo no dará como resultado un colapso total de la estructura.

Acero primario

En la zona atmosférica, no se han reportado problemas significativos de corrosión. Los recubrimientos utilizados actualmente proporcionan una protección adecuada para la vida útil requerida. No hay signos de fallo importante en el recubrimiento.

En la zona de salpicadura, se observan daños de recubrimiento y corrosión. En general, el daño del recubrimiento no es resultado de la degradación del recubrimiento. Los recubrimientos usados son, generalmente, de alta calidad, cumplen con los estándares relevantes y proporcionan la protección requerida contra la corrosión. Si un revestimiento está dañado localmente, a menudo se puede vincular a daños mecánicos (impactos de objetos flotantes o botes de servicio) o una aplicación inadecuada. También se ha observa-



Market challenges for ORE to reach or increase their deployment potential are varied and are based on the combination of technical and non-technical challenges.

The Strategic Research Agenda for Ocean Energy, which involves more than 200 experts and professionals from 150 organisations across the EU, has defined the priority challenges for the ORE sector, identifying some 14 priorities. Device reliability and survivability is one such priority.

The materials, components and systems used, as well as maintenance programmes, all impact on device lifetime. A large part of operation and maintenance (O&M) costs, between 15% and 30% of the total lifecycle cost of an offshore wind farm, is due to replacement parts caused by corrosion problems to metal structures.

The devices need to be compatible with the marine environment and resistant to the harsh conditions, including:

- Corrosion (accelerated by the presence of chlorides and microorganisms in seawater).
- Physical loads and impact.
- Exposure to UV-radiation.
- Extreme sub-zero temperatures.
- Marine growth and biofouling.
- Bird droppings (can chemically degrade coatings).
- Developing, characterising, improving and using the right materials, metal treatments and monitoring technologies are key to making ORE devices survivable and reliable.

Corrosion issues in offshore wind structures

The following analysis was based on a study of existing publications on this issue and a range of interviews with industry experts, and therefore should not be considered as an exhaustive account.

A distinction is made between primary and secondary steel structures. Primary steel includes structural components such as the foundation and tower, whose failure could threaten the integrity of the entire structure. Although secondary steel structures are also important components, their failure will not result in a total collapse of the structure.

Primary steel

In the atmospheric zone, no significant corrosion issues have been reported. The coatings currently used provide adequate protection for the required lifetime. There are no signs of major coating failure.

In the splash zone, coating damage and corrosion is observed. In general, this damage is not the result of coating degradation. The coatings used are generally of a high quality that comply with the relevant standards and provide the required anti-corrosion protection. If there is local damage to a coating, this can often be linked to either mechanical damage (impacts by floating objects or service boats) or improper application. It has also been observed that the coating thickness in the splash zone may decrease over time, as a result of the grinding action of waves.

do que el espesor del recubrimiento en la zona de salpicadura puede disminuir con el tiempo, como resultado de la acción de pulido de las olas. Sin embargo, esto se puede tomar en cuenta fácilmente en la etapa de diseño. Como el daño y la corrosión del recubrimiento en esta zona se deben principalmente a daños mecánicos, un recubrimiento más flexible y tolerante al daño podría ser una solución.

Para reducir el LCOE, se intenta reducir el coste del sistema de recubrimiento, sin comprometer la durabilidad. Se plantea reducir el espesor del recubrimiento, reduciendo el número de capas, lo que reduce los costes, no por el uso de menos material, sino por el menor número de horas necesario para su aplicación (el coste de mano de obra es mucho más alto que el coste de la pintura). Por tanto, en principio, una reducción del número de capas en el sistema de revestimiento sería efectiva; si bien trae consigo una cuestión de fiabilidad.

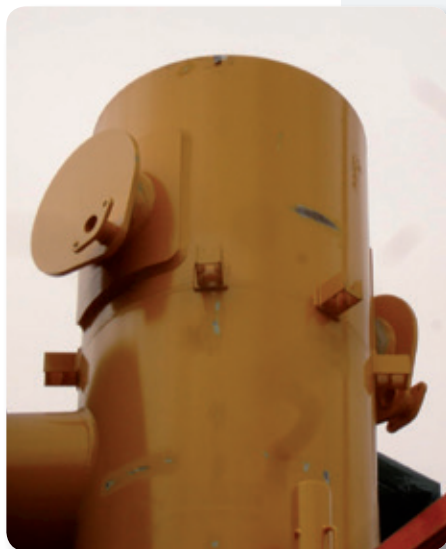
En un sistema multicapa, un defecto en una capa no resulta, necesariamente, en un defecto de recubrimiento, lo que hace que el sistema multicapa sea relativamente tolerante a los defectos de aplicación. En un sistema monocapa, un defecto de capa resulta, evidentemente, en un defecto de recubrimiento. Por tanto, pasar a sistemas de recubrimiento con menos capas es una cuestión de control de calidad. La aceptación generalizada del uso de recubrimientos monocapa, podría implicar el desarrollo de un mecanismo de control para verificar que el recubrimiento no presente defectos en toda la extensión de la estructura (no solo en las inspecciones puntuales).

En la zona sumergida, la estructura de la cimentación está protegida por protección catódica (con o sin un revestimiento adicional). Si se diseña correctamente, esto evita efectivamente la corrosión. Sin embargo, hay algunos puntos a destacar:

Corrosión microbológica alrededor de la línea de lodo. Aunque representa una amenaza, no está claro cómo podrían protegerse las bases contra ella. No hay evidencia concluyente que demuestre si la protección catódica con corriente impresa ayuda o no a prevenirla (también por debajo de la línea de barro) y cuál es el potencial de protección requerido (ahora se toma generalmente 950 mV). Los recubrimientos pueden ser una solución. Pero los cimientos se clavan en el suelo, a menudo a través de la capa de protección contra socavación depositada en el lecho marino. La pregunta sigue siendo si la integridad del recubrimiento no se ve comprometida después de un tratamiento tan agresivo.

Corrosión en el interior de cimientos monopilotes. Inicialmente se creía que no se daba corrosión en el interior de los monopilotes. Estos eran sellados y se consideraban herméticos debido a que en su interior el oxígeno se agotaría rápidamente, evitando la corrosión. Sin embargo, se ha demostrado que el agua de mar y el oxígeno penetran en el monopilote, lo que hace necesario algún tipo de protección contra la corrosión.

Ésta puede ser un recubrimiento, una protección catódica o una combinación de ambos. En el caso de que se



However, this can easily be taken into account in the design stage. As coating damage and corrosion in this zone are mainly due to mechanical damage, a more flexible and damage-tolerant coating could be a solution.

To reduce the levelised cost of energy (LCOE), attempts are made to reduce the cost of the coating system, without compromising durability. A reduction to the coating thickness is proposed to reduce the number of layers, rather than the amount of material used, thus bringing down the cost: fewer layers take less time to apply so savings are made given that the labour cost is much higher than the cost of the paint. In principle, a reduction in the number of layers in the coating system would be effective, however it does raise questions as regards reliability.

In a multi-layer system, a defect in an individual layer does not necessarily result in a coating defect, thus the multi-layer system is relatively tolerant to application defects. In a single layer system, a layer defect evidently results in a coating defect. Moving to coating systems with fewer layers is therefore a question of quality control. The widespread acceptance of single layer coatings might involve the development of a control mechanism to verify that the coating is defect-free over the entire surface of the structure (not just during spot checks).

In the submerged zone, the foundation structure has a cathodic protection (with or without an additional coating). If properly designed, this effectively prevents corrosion however there are some points that should be highlighted:

Microbiologically-Influenced Corrosion (MIC) around the mudline. Although MIC poses a threat, it is unclear how foundations could be protected against it. There is no conclusive evidence showing whether or not impressed current cathodic protection helps to prevent MIC or not (also below the mudline) and what the required protection potential is (now generally taken at -950mV). Coatings may be a solution however, foundations are hammered into the ground, often through the layer of scour protection deposited on the sea bed. The question remains whether the coating integrity is not compromised after such aggressive treatment.

Corrosion on the inside of monopile foundations. It was initially believed that such corrosion did not occur as monopiles were sealed and considered airtight. In such an enclosure, oxygen would be rapidly used up, thereby preventing corrosion. However, it has been shown that seawater and oxygen do penetrate into the monopile, making some form of anti-corrosion protection necessary.



usen ánodos de aleación de aluminio para protección catódica, el pH del agua de mar puede caer a niveles ácidos, haciendo que la protección catódica sea inefectiva. Para evitar esto, debe asegurarse que el agua de mar en el monopilote se pueda refrescar mediante la acción de las mareas. Cuando ocurre corrosión en el interior del monopilote, se debe prestar especial atención a las soldaduras en las que se pueden producir fisuras y picaduras.

Acero secundario

La importancia de la corrosión del acero secundario es a menudo subestimada. Una gran parte de los costes de mantenimiento debidos a la corrosión pueden asignarse a la reparación de estructuras de acero secundario.

This can be a coating, a cathodic protection or a combination of both. In the event aluminium alloy anodes are used for cathodic protection, the seawater pH can drop to acidic levels, rendering the cathodic protection ineffective. To avoid this, the seawater in the monopile has to be refreshed by tidal action. When corrosion inside the monopile does occur, special attention should be paid to welds where cracking and pitting can occur.

Secondary steel

The importance of secondary steel corrosion is often underestimated. A large part of the maintenance costs due to corrosion can be attributed to the repair of secondary steel structures.

Aproximación de barcos <i>Boat landing</i>	Los recubrimientos utilizados actualmente en estas zonas no pueden hacer frente a la fricción, el impacto y la carga mecánica producida por los barcos de servicio. Como resultado, muestran daños severos en el revestimiento y corrosión, por lo que es necesario un mantenimiento constante. <i>The coatings currently used in boat landing zones cannot cope with the friction, impact and mechanical loads produced by the service boats. As a result, these areas show severe coating damage and corrosion, making constant maintenance necessary.</i>
Barandillas, bordes de plataforma, escotillas <i>Railings, platform borders, hatches</i>	Componentes sujetos a daños debido al uso frecuente para actividades de inspección y mantenimiento, y al levantamiento de material. <i>These components are often subject to damage from frequent use by inspection and maintenance activities, and for hoisting material.</i>
Conexiones atornilladas, esquinas y áreas de difícil acceso <i>Bolted connections, corners and hard-to-reach areas</i>	Áreas difíciles de recubrir, propensas a fallos tempranos de recubrimiento. Como solución, se podría utilizar una forma de protección activa. <i>Areas that are difficult to coat are prone to early coating failures. As a solution, a form of active protection could be used.</i>
Fijación de la rejilla <i>Grating fixation</i>	Las rejillas a menudo se fijan a la estructura de soporte con pernos que se atornillan en bloques de acero inoxidable, soldados a los soportes de acero al carbono. Estas soldaduras son difíciles de preparar en términos de rugosidad de la superficie, lo que resulta en una mala adhesión del recubrimiento. Un recubrimiento con una mejor adhesión a superficies rugosas proporcionaría una solución. También se están utilizando soluciones de conexión alternativas. En fijaciones con tuercas y tornillos, se puede plantear corrosión galvánica. <i>Gratings are often fixed to the support structure with bolts that are screwed into stainless steel blocks, welded to the carbon steel supports. These welds are difficult to prepare in terms of surface roughness, resulting in poor coating adhesion. A coating with a better adhesion to lower rough surfaces would provide a solution. Alternative connection solutions are also being used. In fixations using nuts and bolts, galvanic corrosion may be observed.</i>
Accesorios temporales <i>Temporary accessories</i>	Algunos accesorios de acero secundarios solo se utilizan durante la instalación (por ejemplo, extracción de cables). Para reducir costes, a menudo se toman medidas de protección contra la corrosión menos estrictas en estos accesorios. Como el accesorio ya no es necesario, la corrosión de estas estructuras puede no considerarse un problema. Sin embargo, los productos de corrosión por escorrentía pueden promover la degradación del revestimiento de estructuras de acero primarias o secundarias más importantes. <i>Some secondary steel attachments are only used during installation (e.g. cable removal). To reduce costs, less stringent corrosion protection measures are often taken with these accessories. As the accessory is no longer needed, corrosion of these structures may not be considered an issue. However, run-off corrosion products that cover the coated structure below may promote coating degradation of more important primary or secondary steel structures.</i>

Aunque a menudo se descuidan en el debate sobre la corrosión, componentes funcionales como el generador y los dispositivos electrónicos que también la sufren. Los costes de reparación y piezas de repuesto pueden ser significativos. Para reducir el LCOE, también se debe considerar la gestión de la corrosión de estos componentes.

Soluciones de reparación

No importa el rendimiento del sistema de revestimiento seleccionado, nunca será posible evitar completamente todos los daños. Por tanto, también se requieren soluciones eficientes de reparación de recubrimientos. Muchos productos de recubrimiento especifican condiciones de superficie muy estrictas para su aplicación: rugosidad de la superficie, humedad y concentración de sal. En el entorno marino es muy difícil, si no imposible, cumplir estos requisitos. Los sistemas de revestimiento de alta tolerancia a la condición de la superficie tienen un gran potencial de mejora para facilitar los trabajos de mantenimiento.

Although often neglected in the wider corrosion debate, functional components such as the generator and electronic devices also suffer. The costs of repair and parts can be significant. In order to reduce the LCOE, the corrosion management of these components needs to be considered.

Repair solutions

No matter how well the selected coating system performs, it will never be possible to completely avoid all damage. Therefore, efficient coating repair solutions are also required. Many coating products specify very strict surface conditions for applications, including surface roughness, humidity and salt concentration. In the offshore environment, it is often very difficult, if not impossible, to comply with these requirements. Coating systems with a high tolerance to the surface condition have great potential to improve and facilitate maintenance tasks.

Francesco Matteucci, Jeroen Tacq, Giulia Masi, Leonore van Velzen, Mark Laurie
Proyecto NeSSIE | NeSSIE project