



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PARQUE  
EÓLICO OFFSHORE DE ST-BRIEUC

Autor: Juan Oriol Dolz de Espejo

Director: Stephane Alain Riou

Madrid, 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Operación y Mantenimiento del Parque Eólico Offshore de St-Brieuc  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Juan Oriol Dolz de Espejo

Fecha: 20/ 08/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Stephane Alain Riou

Fecha: 20/ 08/ 2024



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

## OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PARQUE EÓLICO OFFSHORE DE ST-BRIEUC

Autor: Juan Oriol Dolz de Espejo

Director: Stephane Alain Riou

Madrid, 2024



# **Agradecimientos**

Muchas gracias a todos los que me apoyaron en los peores momentos.



# OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PARQUE EÓLICO OFFSHORE DE ST-BRIEUC

**Autor: Oriol Dolz de Espejo, Juan.**

Director: Alain Riou, Stephane.

Entidad Colaboradora: Iberdrola

## RESUMEN DEL PROYECTO

En este trabajo de fin de grado se detalla cómo se realiza la fase operación y mantenimiento de un proyecto tan grande como es el de un parque eólico marino, y en este caso el que ha realizado Iberdrola en St-Brieuc, Francia. Es un proyecto que recoge más de 10 años de trabajo hasta poder ponerse en producción para después entrar en la fase de operación y mantenimiento durante los siguientes 20-25 años. Esta última fase es fundamental para que un proyecto con tanto trabajo detrás y tanta repercusión para la sociedad se prolongue el máximo tiempo posible.

**Palabras clave:** Mantenimiento, Offshore, Aerogeneradores

## 1. Introducción

La energía eólica offshore está emergiendo como una de las principales fuentes de energía renovable en el mundo debido a su capacidad para generar grandes cantidades de electricidad de manera sostenible. A diferencia de los parques eólicos terrestres, los parques eólicos offshore se sitúan en el mar, aprovechando los vientos más fuertes y constantes que se encuentran lejos de la costa. Este posicionamiento no solo mejora la eficiencia de generación de energía, sino que también minimiza el impacto visual y acústico en las comunidades costeras.

En los últimos años, la capacidad instalada de energía eólica offshore ha crecido significativamente, impulsada por la urgencia de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mitigar los efectos del cambio climático. La Unión Europea, por ejemplo, se ha propuesto alcanzar los 300 GW de capacidad eólica offshore para el año 2050, un objetivo ambicioso que refleja el compromiso global con la transición hacia fuentes de energía más limpias. Sin embargo, este crecimiento también viene acompañado de desafíos importantes, como los elevados costos de instalación y la complejidad logística asociada con la construcción y mantenimiento de estas infraestructuras en entornos marinos hostiles.

El mantenimiento de los parques eólicos offshore es crucial para garantizar su operatividad y prolongar su vida útil. Este proceso incluye tanto actividades preventivas como correctivas, asegurando que los equipos funcionen de manera óptima y que cualquier avería sea reparada rápidamente. Las condiciones marítimas extremas, como la corrosión y el desgaste causado por el agua salada y los fuertes vientos, requieren técnicas y tecnologías de mantenimiento especializadas. La implementación de sensores y sistemas de monitoreo avanzados permite una supervisión constante del

estado de las turbinas y otras infraestructuras, facilitando intervenciones oportunas y efectivas.

Iberdrola, una de las principales empresas energéticas del mundo, está a la vanguardia en el desarrollo de proyectos eólicos offshore. Su proyecto de Saint-Brieuc, ubicado en la región de Bretaña, Francia, es un ejemplo destacado de su compromiso con las energías renovables. Este parque, con una capacidad de 496 MW, será capaz de suministrar electricidad a aproximadamente 835.000 hogares una vez completado. La complejidad de un proyecto de esta magnitud requiere una planificación logística meticulosa para el mantenimiento y las operaciones, especialmente considerando la coexistencia de las fases de construcción y operación.

En el proyecto de Saint-Brieuc, la logística de mantenimiento implica la coordinación precisa entre las bases en tierra y las operaciones en el mar. Esto incluye el uso de embarcaciones especializadas, como los CTVs (Crew Transfer Vessels), para el transporte seguro y eficiente de personal y equipos. Además, la planificación eficiente de los desplazamientos y el transporte de equipos es fundamental para minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la disponibilidad de las turbinas.

## **2. Definiciones y objetivos del proyecto**

Los principales objetivos de este trabajo incluyen la comprensión de los desafíos técnicos y logísticos, la evaluación de la eficiencia de las estrategias de mantenimiento, la contribución a la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental, y la optimización de la logística de transporte y gestión de personal.

En primer lugar, se busca analizar los procesos de instalación de las turbinas eólicas, destacando los desafíos técnicos específicos que se encuentran en el entorno marino. Además, se estudian las estrategias logísticas implementadas para el mantenimiento, incluyendo la gestión de repuestos y las operaciones de mantenimiento en los diferentes componentes del parque eólico, como las cimentaciones, cables y turbinas.

Un objetivo clave es evaluar la efectividad de las estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo para minimizar los tiempos de inactividad y maximizar la producción de energía. Esto incluye analizar el uso de tecnologías avanzadas, como sensores y sistemas de monitoreo, para la supervisión constante del estado de las turbinas y otras infraestructuras, facilitando intervenciones oportunas y efectivas.

Otro objetivo importante es investigar cómo las prácticas de mantenimiento y operación pueden contribuir a la sostenibilidad del parque eólico y reducir su impacto ambiental. Esto implica examinar las medidas implementadas para proteger el medio ambiente marino y la fauna local, incluyendo el uso de sistemas de mitigación de impactos sobre aves marinas.

Finalmente, se estudia la coordinación entre las bases en tierra y las operaciones en el mar, incluyendo el uso de embarcaciones especializadas para el transporte seguro y eficiente de personal y equipos. También se evalúa la planificación eficiente de los desplazamientos y el transporte de equipos para minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la disponibilidad de las turbinas.

## **3. Conclusiones y recomendaciones**

El parque eólico de Saint-Brieuc, con una capacidad de 496 MW, representa una inversión significativa y un avance hacia una mayor sostenibilidad energética en la región. Sin embargo, los desafíos logísticos y operacionales en el mar son considerables debido a las condiciones climáticas adversas y a la ubicación remota del parque. Esto subraya la importancia de una planificación meticulosa y del uso de tecnologías avanzadas para garantizar la eficiencia operativa. En este sentido, es esencial optimizar la logística de mantenimiento, implementar sistemas avanzados de gestión logística y herramientas de monitoreo en tiempo real, así como invertir en tecnologías de mantenimiento predictivo.

Para asegurar un funcionamiento continuo y seguro de las instalaciones, es fundamental también centrar esfuerzos en la formación continua del personal técnico, garantizando que esté siempre al día con las últimas tecnologías y protocolos de seguridad. En los próximos cinco años, los desafíos más relevantes para el parque eólico de Saint-Brieuc incluirán el mantenimiento de la fiabilidad operativa, la gestión de los altos costos logísticos y la integración eficiente de la energía producida en la red eléctrica. Enfrentar estos desafíos requerirá un mantenimiento riguroso para evitar paradas imprevistas, una eficiente gestión de los costos asociados al transporte de personal y equipos especializados, y la superación de los retos técnicos relacionados con la transmisión de energía a largas distancias, todo mientras se cumplen las normativas vigentes.



# **OPERATION AND MAINTENANCE OF THE OFFSHORE WIND FARM AT ST-BRIEUC**

**Author: Oriol Dolz de Espejo, Juan.**

Supervisor: Alain Riou, Stephane.

Collaborating Entity: Iberdrola

## **ABSTRACT**

This final degree thesis details the operation and maintenance phase of a project as large as an offshore wind farm, in this case the one carried out by Iberdrola in St-Brieuc, France. It is a project that takes more than 10 years of work until it can be put into production and then enter the operation and maintenance phase for the next 20-25 years. This last phase is essential for a project with so much work behind it and so much impact on society to last as long as possible.

**Keywords:** Maintenance, Offshore, Wind Turbines

## **1. Introduction**

Offshore wind energy is emerging as one of the main sources of renewable energy worldwide due to its ability to generate large amounts of electricity sustainably. Unlike onshore wind farms, offshore wind farms are located at sea, taking advantage of the stronger and more consistent winds found far from the coast. This positioning not only improves energy generation efficiency but also minimizes visual and acoustic impact on coastal communities.

In recent years, the installed capacity of offshore wind energy has grown significantly, driven by the urgency to reduce CO<sub>2</sub> emissions and mitigate the effects of climate change. The European Union, for example, has set a target of achieving 300 GW of offshore wind capacity by 2050, an ambitious goal that reflects the global commitment to transitioning towards cleaner energy sources. However, this growth also comes with significant challenges, such as the high installation costs and the logistical complexity associated with the construction and maintenance of these infrastructures in harsh marine environments.

The maintenance of offshore wind farms is crucial to ensuring their operability and extending their lifespan. This process includes both preventive and corrective activities, ensuring that the equipment operates optimally and that any breakdowns are quickly repaired. The extreme marine conditions, such as corrosion and wear caused by saltwater and strong winds, require specialized maintenance techniques and technologies. The implementation of advanced sensors and monitoring systems allows for constant supervision of the state of the turbines and other infrastructures, facilitating timely and effective interventions.

Iberdrola, one of the world's leading energy companies, is at the forefront of offshore wind project development. Its Saint-Brieuc project, located in the Brittany region of France, is a notable example of its commitment to renewable energies. This wind farm, with a capacity of 496 MW, will be able to supply electricity to approximately 835,000 homes once completed. The complexity of a project of this magnitude requires

meticulous logistical planning for maintenance and operations, especially considering the coexistence of the construction and operation phases.

In the Saint-Brieuc project, maintenance logistics involve precise coordination between onshore bases and offshore operations. This includes the use of specialized vessels, such as CTVs (Crew Transfer Vessels), for the safe and efficient transport of personnel and equipment. Moreover, the efficient planning of movements and transportation of equipment is essential to minimize downtime and maximize turbine availability.

## **2. Project definitions and objectives**

The main objectives of this work include understanding the technical and logistical challenges, evaluating the efficiency of maintenance strategies, contributing to sustainability and reducing environmental impact, and optimizing the logistics of transport and personnel management.

Firstly, the goal is to analyze the installation processes of wind turbines, highlighting the specific technical challenges encountered in the marine environment. Additionally, the logistical strategies implemented for maintenance are studied, including spare parts management and maintenance operations for various components of the wind farm, such as foundations, cables, and turbines.

A key objective is to evaluate the effectiveness of preventive and corrective maintenance strategies to minimize downtime and maximize energy production. This includes analyzing the use of advanced technologies, such as sensors and monitoring systems, for constant supervision of the condition of turbines and other infrastructure, facilitating timely and effective interventions.

Another important objective is to investigate how maintenance and operational practices can contribute to the sustainability of the wind farm and reduce its environmental impact. This involves examining the measures implemented to protect the marine environment and local wildlife, including the use of impact mitigation systems on seabirds.

Finally, the coordination between onshore bases and offshore operations is studied, including the use of specialized vessels for the safe and efficient transport of personnel and equipment. The efficient planning of movements and equipment transportation is also evaluated to minimize downtime and maximize turbine availability.

## **3. Conclusions and recommendations**

The Saint-Brieuc wind farm, with a capacity of 496 MW, represents a significant investment and a step towards greater energy sustainability in the region. However, the logistical and operational challenges at sea are considerable due to adverse weather conditions and the remote location of the park. This underscores the importance of meticulous planning and the use of advanced technologies to ensure operational efficiency. In this regard, it is essential to optimize maintenance logistics, implement advanced logistics management systems and real-time monitoring tools, and invest in predictive maintenance technologies.

To ensure the continuous and safe operation of the facilities, it is also crucial to focus efforts on continuous training for technical personnel, ensuring that they are always up to date with the latest technologies and safety protocols. In the next five years, the most relevant challenges for the Saint-Brieuc wind farm will include maintaining operational reliability, managing high logistical costs, and efficiently integrating the energy produced into the electrical grid. Addressing these challenges will require rigorous maintenance to avoid unexpected shutdowns, efficient management of costs associated with transporting personnel and specialized equipment, and overcoming technical challenges related to long-distance energy transmission, all while complying with current regulations.



## *Índice de la memoria*

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2: CONTEXTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>7</b>
2.1 IBERDROLA .....	7
2.2 Proyecto de St-Brieuc .....	8
<b>CAPÍTULO 3: MANTENIMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE .....</b>	<b>9</b>
3.1 Introducción .....	9
3.2 Economía de la Energía Eólica Marina .....	10
3.2.1 Costes de Instalación .....	10
3.2.2 Coste Energético.....	12
3.2.3 Costes de Operación y Mantenimiento .....	14
3.3 Instalaciones del Parque de St-Brieuc .....	16
3.3.1 Pilotes y cimentaciones.....	16
3.3.2 Cables entre aerogeneradores.....	17
3.3.3 Las Turbinas.....	19
3.3.4 La subestación Eléctrica.....	20
3.4 Conceptos Clave.....	20
3.4.1 Factor de Carga.....	21
3.4.2 Acceso .....	21
3.4.3 Mantenimiento correctivo y preventivo.....	22
3.5 Como se realiza el mantenimiento en plano mar.....	23
3.5.1 Otros medios de acceso o inspección.....	29
3.6 Operaciones de Mantenimiento.....	30
3.6.1 Las fundaciones.....	30
3.6.2 Cables y fondo marinos.....	32
3.6.3 Inspección de fondo marino.....	33
3.6.4 Vigilancia de fibras ópticas.....	34
3.6.5 Actividades de mantenimiento adicionales: escollera y cambio de cable.....	34
3.6.6 Las turbinas.....	35
3.6.7 La subestación eléctrica.....	36

3.7 Base de Mantenimiento y Puerto .....	38
3.7.1 Base de Mantenimiento .....	40
3.7.2 Puerto de Mantenimiento .....	41
<b>CAPÍTULO 4: ORGANIZACIÓN LOGÍSTICA DEL MANTENIMIENTO .....</b>	<b>42</b>
4.1 Normas HSE .....	42
4.1.1 EPI .....	43
4.2 Proceso de la mercancía y PAX sobre la base.....	44
4.2.1 Condiciones especiales para material peligroso .....	47
4.2.2 Funciones y responsabilidades del personal de la base.....	49
4.3 Salida de Mercancía y de Personal .....	51
4.3.1 Mercancía.....	51
4.3.2 Personal .....	52
4.4 Equipo utilizado para el transporte .....	54
4.5 Gestión de Residuos .....	57
4.6 Devolución de Piezas.....	59
4.7 Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	60
<b>1. Bibliografía .....</b>	<b>62</b>

## *Índice de figura*

Ilustración 1. Proyecto St-Brieuc.....	8
Ilustración 2. Comparación de costes entre UK y China 1 .....	12
Ilustración 3. Comparación de costes entre UK y China 2 .....	13
Ilustración 4. Gráfico de costes de una instalación Offshore vs Onshore.....	14
Ilustración 5. Diferentes partes de un parque marino generalizada.....	16
Ilustración 6. Características de cimentación en St-Brieuc .....	17
Ilustración 7. Los diferentes jackets en el parque .....	17
Ilustración 8. Los diferentes cables en el parque .....	18
Ilustración 9. Distribución de cables en el parque .....	18
Ilustración 10. Características de las turbinas del parque .....	19
Ilustración 11. Subestación eléctrica del parque .....	20
Ilustración 12. Ejemplo de SOV .....	24
Ilustración 13. Ejemplo de CTV.....	24
Ilustración 14. Ejemplo de SOV de Daughter Craft .....	25
Ilustración 15. Ejemplo de DP2.....	25
Ilustración 16. Ejemplo de buque de preparación de fondos .....	26
Ilustración 17. Ejemplo de barco de autoelevación .....	27
Ilustración 18. Ejemplo de barcos para el tendido de cables.....	28
Ilustración 19. Ejemplo del lanzamiento del ROV .....	31
Ilustración 20. Ejemplo de un técnico de trabajos verticales realizando trabajos de pintura en el mar.....	31
Ilustración 21. Inspección de cables en el fondo marino .....	33
Ilustración 22. Ecosondas multihaz (MBES) .....	34
Ilustración 23. A la izquierda, ilustración de un técnico de trabajos verticales trabajando en una pala y a la derecha de un dron que está inspeccionando. ....	36
Ilustración 24. Diferentes partes de la subestación eléctrica.....	37
Ilustración 25. Contexto geográfico.....	39
Ilustración 26. Base de mantenimiento en construcción .....	40

Ilustración 27. Ruta del camión de descarga en el puerto .....	41
Ilustración 28. Ejemplo de EPI.....	44
Ilustración 29. Proceso de la mercancía normal .....	46
Ilustración 30. Planos básicos del hangar.....	46
Ilustración 31. Símbolos de seguridad para almacenaje .....	48
Ilustración 32. Planos de la zona de trabajo de la base .....	50
Ilustración 33. Logigrama de las piezas sobrantes .....	59

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE

La energía eólica marina es un componente esencial de la transición hacia fuentes de energía más sostenibles. Se caracteriza por la instalación de aerogeneradores en el mar, lejos de la costa. A diferencia de los aerogeneradores terrestres, los aerogeneradores marinos aprovechan vientos más sostenidos y regulares, lo que mejora su factor de carga. Su principio de funcionamiento es similar al de los aerogeneradores terrestres: convierten la energía cinética del viento en electricidad. Las aspas giran con el viento, impulsando un generador que produce electricidad. Los cimientos de los aerogeneradores marinos pueden colocarse o anclarse al fondo marino y deben soportar las duras condiciones marinas.

Desde un punto de vista técnico, los aerogeneradores marinos están diseñados para resistir la corrosión. Los sensores específicos proporcionan un mayor control. La góndola y torre cuentan con sistemas de regulación de humedad y temperatura para evitar la corrosión interna.

Ventajas y desafíos:

- Ventajas:
  - Recurso abundante: Los vientos en el mar son más regulares y potentes, ofreciendo alto potencial para la producción de energía.
  - Menos impacto visual: las turbinas eólicas marinas son menos visibles desde la costa, lo que reduce los conflictos de desarrollo.
  - Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>: La energía eólica contribuye a la lucha contra el cambio climático.
- Desafíos:
  - Costes elevados: La instalación y el mantenimiento de turbinas eólicas marinas son más costosos debido a las duras condiciones marinas.

- Logística Compleja: La construcción en el mar requiere embarcaciones especiales e infraestructuras adaptadas.
- Desconocimiento de los impactos sobre la biodiversidad marina y la avifauna.

El futuro de la energía eólica marina es brillante y está lleno de oportunidades. A medida que más países y regiones definen sus ambiciones y políticas en materia de energía marina, la energía eólica marina está creciendo a nivel mundial. La Unión Europea pretende instalar 300 GW de energía eólica marina para 2050; Hasta mediados de 2020 se habían instalado “sólo” 23 GW. Estos datos, así como un número creciente de proyectos en construcción en nuevos mercados como Japón, Taiwán, Francia y Noruega, muestran la expansión global de la industria eólica marina. Aunque el desarrollo de aerogeneradores cada vez más grandes es técnicamente viable, el desafío radica en sincronizar todos los aspectos: investigación y desarrollo, costos, instalaciones de producción y logística. A pesar de los desafíos, la energía eólica marina sigue siendo una parte crucial de la solución para abordar la crisis climática.

## **CAPÍTULO 2: CONTEXTO DEL PROYECTO**

### **2.1 *IBERDROLA***

Iberdrola es una de las principales empresas de energía a nivel global, con más de 170 años de historia y una fuerte presencia internacional en más de 20 países, incluyendo España, Reino Unido, Estados Unidos, Brasil y México. La compañía se ha consolidado como líder en la generación de energía renovable, con una capacidad instalada que supera los 38 GW, destacándose en energía eólica y solar. Su visión es liderar la transición energética hacia un futuro sostenible e innovador, suministrando energía segura y limpia mientras contribuye al desarrollo económico y social de las comunidades y protege el entorno natural.

La sostenibilidad es un pilar fundamental en la estrategia de Iberdrola, con el compromiso de alcanzar la neutralidad en carbono para 2050 y reducir sus emisiones específicas de CO<sub>2</sub> en un 50% para 2030. La empresa invierte en tecnologías avanzadas y soluciones energéticas innovadoras, como redes inteligentes, almacenamiento de energía y movilidad eléctrica, para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones. Además, Iberdrola gestiona redes de distribución y transmisión de electricidad, garantizando un suministro seguro y fiable a millones de usuarios.

Iberdrola también se ha consolidado como un líder global en el sector de la energía eólica offshore, reflejando su compromiso con la transición hacia una energía más limpia y sostenible. La empresa ha realizado importantes inversiones en este ámbito, desarrollando y operando algunos de los parques eólicos marinos más grandes y avanzados del mundo.

Uno de los proyectos emblemáticos de Iberdrola en energía eólica offshore es el parque eólico de East Anglia ONE en el Reino Unido, que con una capacidad de 714 MW, es uno de los mayores parques eólicos offshore en operación. Este proyecto demuestra la capacidad de Iberdrola para manejar proyectos complejos y de gran escala, aprovechando los fuertes vientos del Mar del Norte para generar energía limpia y sostenible.

## 2.2 PROYECTO DE ST-BRIEUC

El proyecto Saint-Brieuc es el primer gran parque eólico marino de Iberdrola en Bretaña, Francia. Aquí están los detalles clave:

- Capacidad instalada: Una vez operativo a principios de 2024, tendrá una capacidad instalada total de 496 megavatios (MW), capaz de generar energía limpia suficiente para 835.000 personas..
- Ubicación: El parque eólico está situado aproximadamente a 16 km de la costa francesa, en la bahía de Saint-Brieuc.
- Colaboración: Iberdrola trabajó en colaboración con las empresas francesas RES y Caisse des Dépôts, ambas parte del consorcio Ailes Marines, del que Iberdrola es propietaria tras la adquisición de la totalidad de sus acciones.
- Inversión: El proyecto representa una inversión de 2,4 mil millones de euros. Una vez en funcionamiento, producirá 1.820 gigavatios hora (GWh) al año, abasteciendo a 835.000 personas.
- Turbinas de viento: El parque estará equipado con 62 aerogeneradores, cada uno de los cuales generará 8 MW de potencia, y cubrirá una superficie de 75 km<sup>2</sup>.
- Energía limpia: La región de Bretaña, con sus fuertes vientos y sus altas mareas, ofrece un potencial energético considerable. El proyecto Saint-Brieuc contribuirá a la transición hacia una energía más limpia y sostenible.



Ilustración 1. Proyecto St-Brieuc

## CAPÍTULO 3: MANTENIMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE

### 3.1 INTRODUCCIÓN

El término “Mantenimiento” se utiliza para referirse a todas las acciones y técnicas utilizadas para asegurar el correcto y continuo funcionamiento de equipos, máquinas, instalaciones y servicios.

En la prehistoria, con el inicio del pensamiento y las habilidades del hombre, sólo se realizaban trabajos de mantenimiento correctivo de sus herramientas y utensilios.

Al inicio de la industrialización, la función de mantenimiento preventivo (como actividad organizada) no existía. Todas las intervenciones fueron urgentes, es decir, cuando la avería estaba a punto de producirse o ya se había producido. Este fue “Mantenimiento Correctivo o Restaurativo”.

Los accidentes y pérdidas que sufrieron las primeras calderas y máquinas por averías imprevistas fueron considerables, lo que favoreció ciertos cambios con el fin de:

- Mejorar la seguridad de las instalaciones.
- Demanda, presionada por las aseguradoras, de una mayor y mejor cobertura de los equipos estáticos y dinámicos.
- Incrementa las ganancias de tu negocio.

La situación industrial a finales del siglo XIX y principios del XX se puede resumir de la siguiente manera: o existía la automatización o era muy primitiva, apenas existían procesos continuos, la industria química y sobre todo la petroquímica estaban poco desarrolladas, la las máquinas eran simples y lentas, las producciones unitarias eran bajas, el funcionamiento de las máquinas todavía estaba en gran medida confiado al cuidado del operador, se utilizaba

un sobredimensionamiento excesivo como solución a los fallos de los componentes y las actividades de mantenimiento se organizaban en talleres y se limitaban a trabajos de reparación.

En la década de 1950, la industria se estaba reconstruyendo rápidamente después de la Segunda Guerra Mundial. Los ingenieros japoneses comenzaron a seguir las instrucciones del fabricante para el mantenimiento de cada máquina durante su funcionamiento. Así nació lo que hoy llamamos “mantenimiento preventivo”. Se alentó a los técnicos a desarrollar cronogramas para los equipos de lubricación e informar cualquier observación para evitar daños a la maquinaria.

En la década de 1960, la búsqueda de estrategias de mantenimiento más eficientes se aceleró con la llegada del Boeing 747. El objetivo era reducir el tiempo de inactividad.

El mantenimiento ha evolucionado hacia enfoques más planificados, como el mantenimiento predictivo y el uso más eficiente de los recursos.

En resumen, el mantenimiento industrial ha pasado de reactivo a proactivo, y su importancia en la eficiencia y rentabilidad empresarial es innegable.

Hoy en día, el mantenimiento industrial es una práctica fundamental para garantizar el buen funcionamiento y extensión de la vida útil de los equipos utilizados en los procesos productivos de las empresas. Es un conjunto de actividades y técnicas realizadas con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento, conservación y reparación de los equipos de una instalación industrial o empresarial.

## ***3.2 ECONOMÍA DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA***

### **3.2.1 COSTES DE INSTALACIÓN**

La energía eólica marina utiliza grandes turbinas eólicas cuyo coste de capital se estima actualmente en alrededor de £1,2 millones/MW, en comparación con £0,65 millones/MW para las turbinas eólicas terrestres. Las estructuras de las turbinas eólicas marinas son grandes; el centro de la turbina eólica para una máquina marina de 3,5 MW estará a 90 m

sobre la superficie del mar; El diámetro del rotor será del orden de 100 m. Inicialmente, las estructuras se instalarán en una profundidad de agua relativamente poco profunda, de 5 a 20 m, y el peso de cada estructura será relativamente bajo,  $\approx 400$  toneladas, dependiendo de la clasificación. Por lo tanto, a diferencia de las estructuras típicas de petróleo y gas terrestres, la carga vertical aplicada a los cimientos es relativamente pequeña en comparación con los momentos de vuelco del viento y las olas. Así, un parque eólico marino puede representar hasta el 35% del coste instalado. Por lo tanto, los costos de inversión de las unidades eólicas marinas son altos y aumentarán a medida que los parques eólicos se ubiquen en aguas más profundas.

Sin embargo, se puede producir en masa un único diseño de turbina eólica marina para su uso en uno o más parques eólicos completos, en lugar de diseñar cada estructura/base individualmente, como sería el caso en la industria del petróleo y el gas. Por lo tanto, los costes de inversión de las turbinas eólicas marinas disminuirán gradualmente con proyectos posteriores, como se ha observado en proyectos marinos en Dinamarca, Suecia, el Reino Unido, Alemania y los Países Bajos. Se puede hacer una comparación interesante entre el costo de capital de la energía eólica marina en China en Dong Hai Da Qiao y el de los proyectos finales de la primera ronda del Reino Unido, como se muestra en la siguiente ilustración. Los costes de capital de la energía eólica marina en China, de 2,15 millones de libras esterlinas/MW, son más altos que en el Reino Unido, de 1,25 millones de libras esterlinas/MW, ya que China se encuentra en el inicio de su desarrollo marino, mientras que el Reino Unido ya ha aprendido ciertas lecciones. Los costos en China caerán a medida que aumente la capacidad.

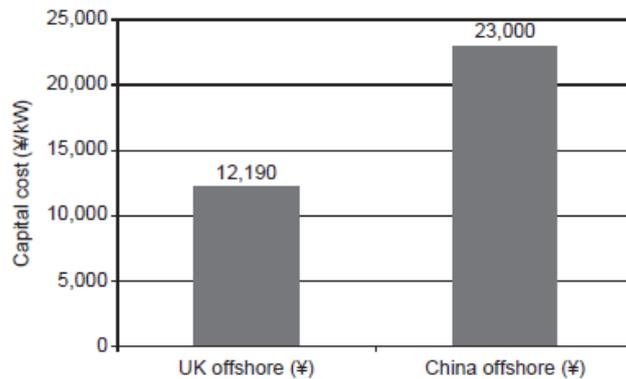


Ilustración 2. Comparación de costes entre UK y China 1

### 3.2.2 COSTE ENERGÉTICO

El costo de la energía (CoE) se utiliza comúnmente para evaluar el desempeño económico de diferentes parques eólicos. En Estados Unidos, se ha adoptado una ecuación de cálculo simplificada para calcular el CoE (£/MWh) de un sistema eólico:

$$CoE = \frac{ICC + FCR \cdot O\&M}{AEP}$$

Siendo,

*ICC = initial capital cost (€) → coste de capital inicial (€)*

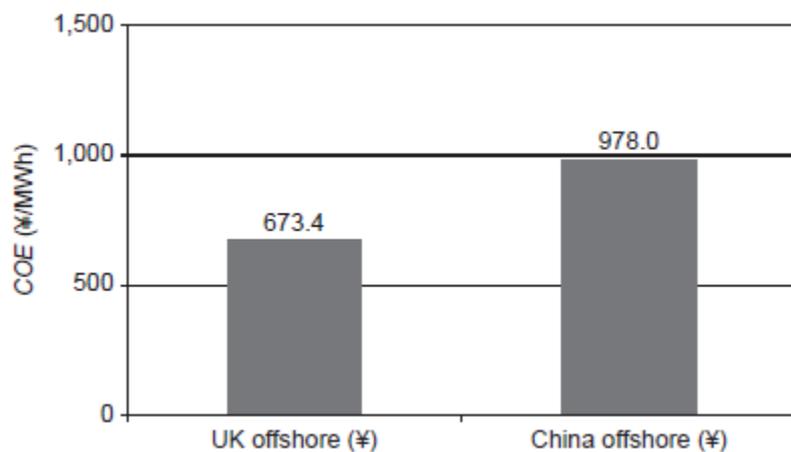
*FCR = annual fixed charge rate (%) → tasa de cargo fijo anual (%)*

*O&M = annual operations and maintenance cost (€)  
→ operaciones anuales y coste de mantenimiento (€)*

*AEP = annual energy production (MWh)  
→ producción anual de energía (MWh)*

Por lo tanto, se estima, desde la primera ronda, que el coste de la energía subsidiada en el Reino Unido para la energía eólica marina será de alrededor de £69/MWh, en comparación con £47/MWh para la energía eólica terrestre. Se puede hacer una comparación interesante

con el coste de la energía eólica marina del proyecto del puente Donghai de Shanghai en China de ¥980/MWh (o ≈£91/MWh), de un coste de instalación del proyecto de ¥23.000/kW (es decir, ≈ £2150 /kW) de fuentes chinas. Nuevamente, se debe esperar que estos costos de energía disminuyan a medida que se adquiera experiencia, los costos de operación y mantenimiento disminuyan y los riesgos asociados con las inversiones de capital disminuyan.



*Ilustración 3. Comparación de costes entre UK y China 2*

Los costes de la energía producida por un parque eólico marino dependen del recurso eólico, la distancia a la costa y la profundidad del agua.

El coste de una instalación marina es mucho mayor que el de una instalación terrestre, pero tiene ventajas sobre los parques terrestres. Entre estas ventajas distinguimos:

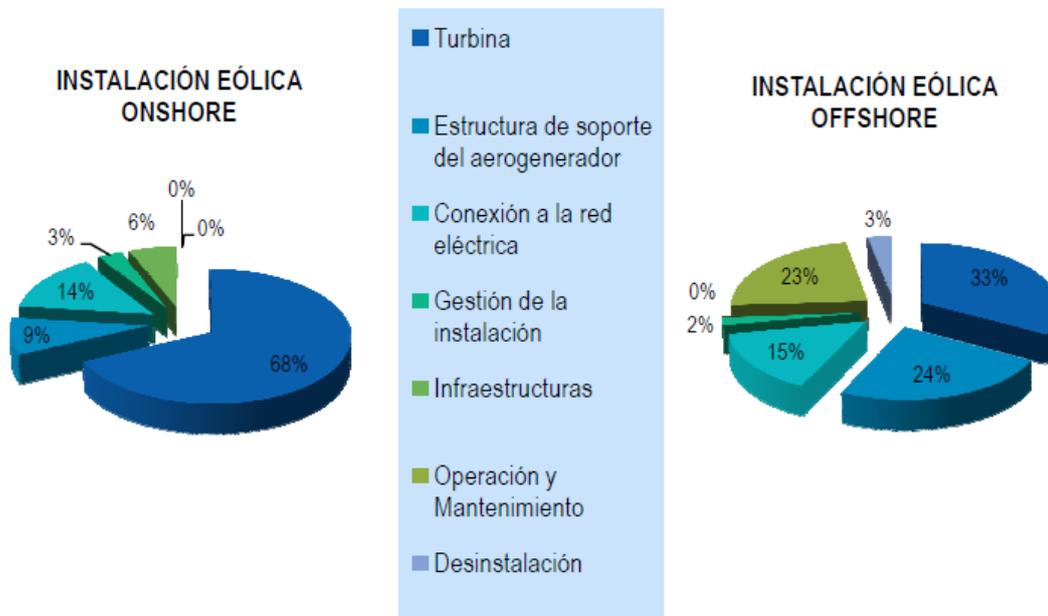
- Tienen una vida útil más larga.
- La velocidad del viento es constante. No sufre cambios por la ausencia de obstáculos que lo frenan o cambian de dirección.
- Es menos turbulento ya que la variación de temperatura de las capas de aire en el mar es menor.
- Tienen una mayor vida útil gracias a la constancia del viento mencionada anteriormente.

La principal limitación para un desarrollo más acelerado radica en los costos unitarios de inversión, que son mayores debido principalmente a los costos de construcción y de interconexión eléctrica con la costa.

La transición de la energía eólica “Onshore” a la energía eólica “Offshore” implica un notable aumento de los costes de la estructura de soporte de los aerogeneradores, así como de los costes de operación y mantenimiento.

### 3.2.3 COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

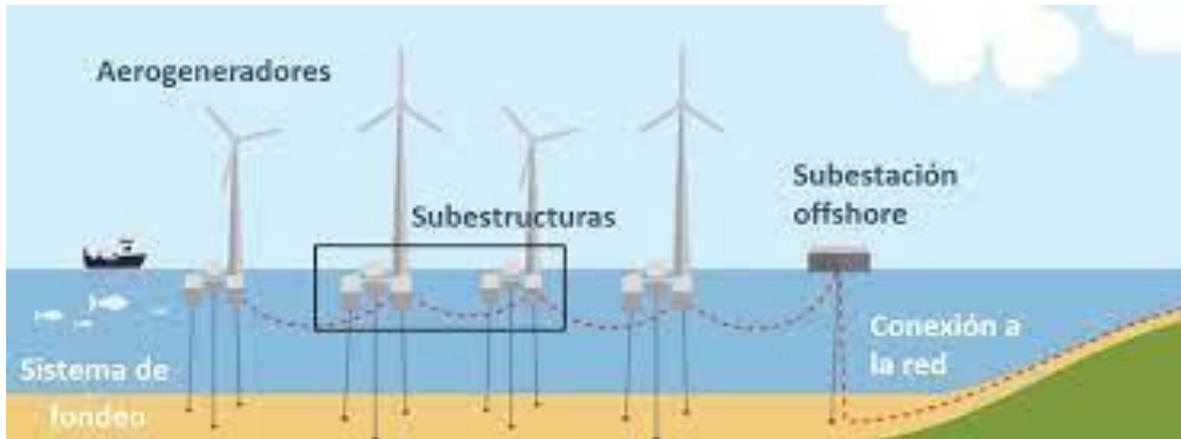
El costo estimado de la energía eólica marina varía según la ubicación y el proyecto. A medida que los diseños de turbinas eólicas se adaptan a las condiciones costeras, lograr una solución económica favorable depende del control del costo total del ciclo de vida del sistema eólico. La siguiente ilustración muestra un desglose típico del costo total de un sistema eólico marino en aguas poco profundas. Gran parte del sobreprecio que se paga actualmente por la energía eólica marina se puede atribuir a la base de la turbina, la conexión a la red y la operación y mantenimiento.



*Ilustración 4. Gráfico de costes de una instalación Offshore vs Onshore*

La operación y mantenimiento de los parques eólicos marinos es más compleja que la de los parques eólicos terrestres. Como resultado, el porcentaje de costes de operación y mantenimiento de algunos parques eólicos marinos europeos oscila entre el 18% y el 23%, muy por encima del 12% medido para los proyectos terrestres. Las condiciones costa afuera requieren operaciones de montaje y puesta en servicio más costosas; Al mismo tiempo, la accesibilidad a los servicios de mantenimiento rutinario y en alta mar es un problema importante. En invierno, un parque eólico completo puede quedar inaccesible durante varios días debido a condiciones desfavorables del mar, del viento o de la visibilidad. Incluso en condiciones climáticas favorables, las operaciones y el mantenimiento son más costosos que en tierra y están influenciados por la distancia mar adentro, la exposición de la ubicación, el tamaño del parque eólico, la confiabilidad de las turbinas eólicas y la estrategia de mantenimiento. Las condiciones costa afuera requieren equipos de elevación especiales para instalar y cambiar subconjuntos importantes, que pueden no estar disponibles con poca antelación o no obtenerse de un proveedor local. Por lo tanto, se requieren técnicas avanzadas para planificar el mantenimiento, utilizando datos de los sistemas Supervisory Control Data Acquisition (SCADA) y Condition Monitoring (CMS) instalados en el aerogenerador, que requieren un conocimiento profundo de las condiciones marinas, una teoría cualitativa de la física y otros conceptos. herramientas para predecir modos de falla de una manera menos convencional que antes. La monitorización remota y la inspección visual en el mar se están volviendo mucho más importantes para mantener niveles adecuados de disponibilidad y factor de capacidad de las turbinas eólicas.

### 3.3 INSTALACIONES DEL PARQUE DE ST-BRIEUC



*Ilustración 5. Diferentes partes de un parque marino generalizada*

#### 3.3.1 PILOTES Y CIMENTACIONES

Los cimientos de turbinas eólicas marinas son esenciales para garantizar la seguridad y eficiencia de estos proyectos de energía renovable marina. Su diseño y construcción requiere una cuidadosa planificación y consideración de las condiciones marítimas y geológicas.

1. Tipos de cimentaciones:

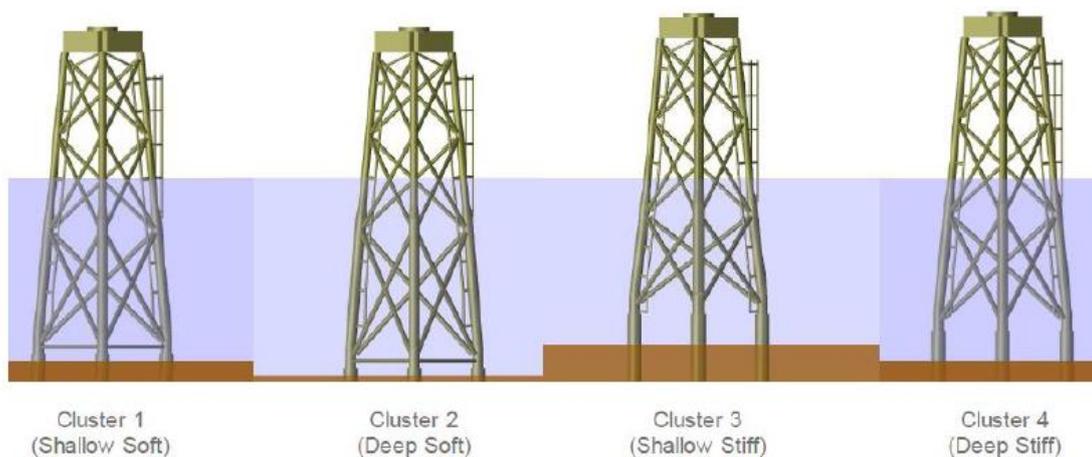
- Monopilotes: Estas cimentaciones son pilares verticales que se hunden en el fondo marino. Son adecuados para aguas poco profundas y se utilizan en parques eólicos cercanos a la costa. El monopilote está anclado al fondo marino y sostiene la torre del aerogenerador.
- Chaquetas: Las chaquetas son estructuras de acero cuyas patas van fijadas al fondo marino. Son ideales para aguas más profundas y proporcionan mayor estabilidad. Las turbinas están montadas encima de la camisa.
- Plataformas flotantes: Estas cimentaciones flotan sobre la superficie del agua y están ancladas mediante cables al fondo marino. Son adecuados para aguas profundas y permiten la instalación en zonas que antes eran inaccesibles.

En el caso del proyecto de St-Brieuc, se optó por el uso de chaquetas debido a la profundidad a la que se deben colocar los cimientos.

<b>Epaisseur</b>	50-80 mm
<b>Longueur</b>	De 24 m à 48.2 m
<b>Diamètre</b>	Environ 2,8 m
<b>Poids</b>	109 t – 218 t

*Ilustración 6. Características de cimentación en St-Brieuc*

Hay diferentes tipos de chaquetas en el parque ya que cada aerogenerador está a una profundidad diferente. Por este motivo se produjeron 4 tipos diferentes.



*Ilustración 7. Los diferentes jackets en el parque*

### **3.3.2 CABLES ENTRE AEROGENERADORES**

La red de cables permite transportar la electricidad producida por las turbinas eólicas hasta la subestación eléctrica en el mar. Los cables submarinos para parques eólicos marinos han sido asignados por Francia en el Canal de la Mancha y en el Atlántico. Son instalados por RTE (Red de Transmisión Eléctrica) como parte de su misión de servicio público. El impacto medioambiental de estos cables se tiene en cuenta en su despliegue.

Type de câble	Rôle	Diamètre extérieur (mm)	Longueur au sein du parc (km)*
Collecteur	Transportent la production des groupes d'éoliennes jusqu'à la sous-station électrique en mer	169	22 (2x11)
Inter-éoliennes	Relient jusqu'à 9 éoliennes entre elles	167	69

Ilustración 8. Los diferentes cables en el parque

Los requisitos de entierro para la protección de cables son los siguientes:

- Al norte del parque, una profundidad de enterramiento de 0,5 m;
- Al sur del parque, una profundidad de enterramiento de 0,8 m;
- Una profundidad de enterramiento de 1,5 m para 11 cables.

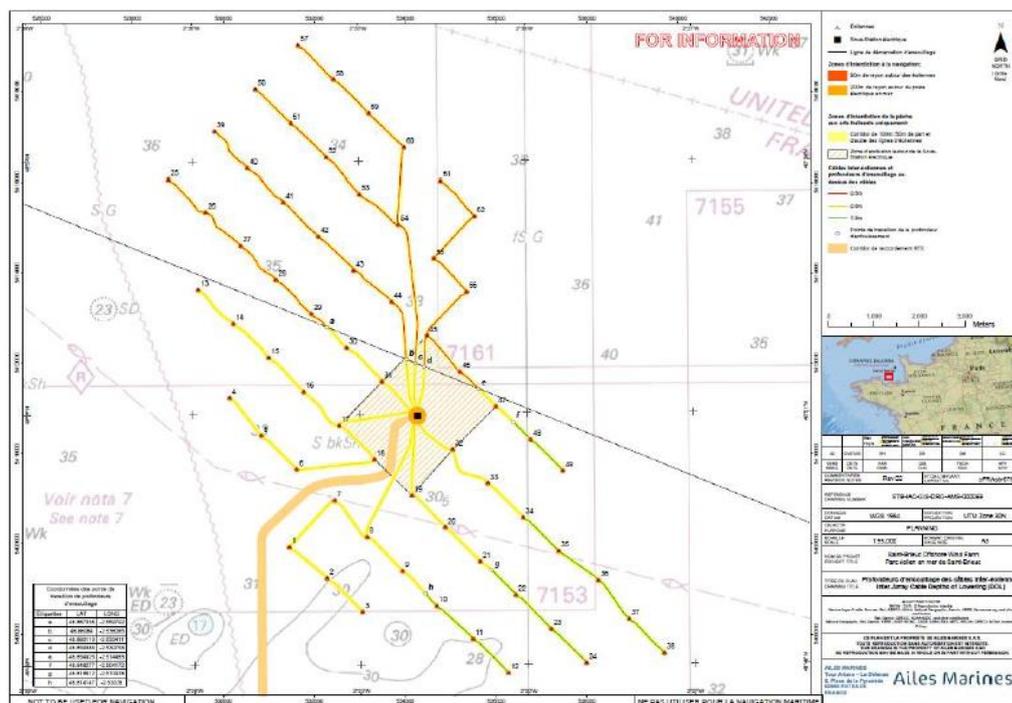


Ilustración 9. Distribución de cables en el parque

### 3.3.3 LAS TURBINAS

Los tres elementos principales de los aerogeneradores son:

- El mástil, metálico y cónico, que soporta estructuralmente el rotor y la góndola;
- La góndola, el rotor y el generador están ensamblados y sostenidos por el mástil.;
- El rotor está formado por tres palas fijadas al buje.

Los aerogeneradores utilizados en el parque de St-Brieuc son el SG 8.0-167 DD de Siemens Gamesa, con una potencia nominal de 8 MW.

	Dimensions approximatives(m)
Hauteur du mât	≈ 90
Hauteur du moyeux (PBMA)	Entre ≈ 121, et 125 pour le cluster le plus élevé
Diamètre du rotor	≈ 167
Hauteur de la nacelle	≈ 9
Longueur d'une pale	≈ 81
Hauteur en bout de pale (PBMA)	≈ 209
Hauteur de la plateforme de travail	≈ Entre 29 et 32,5

*Ilustración 10. Características de las turbinas del parque*

### **3.3.4 LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

La subestación eléctrica recoge la electricidad de los grupos de aerogeneradores, transforma la potencia (aumenta la tensión eléctrica) para inyectar la electricidad a los cables de exportación (en este caso cables RTE).

La subestación eléctrica está compuesta por un módulo de cinco niveles:

- La “plataforma de cables” que es el piso donde se tiran y fijan todos los cables eléctricos;
- La “cubierta principal” que concentra los principales equipos eléctricos;
- El “tween deck”, entre pisos para unidades de refrigeración, baterías de transformadores, gabinetes eléctricos, equipos FIFI;
- La “cubierta de servicios públicos” que alberga los equipos de control, el mástil meteorológico, los generadores auxiliares y de emergencia, el taller;
- La “cubierta de techo” que reúne los equipos auxiliares (grúa, plataforma de helipuerto, etc.).



*Ilustración 11. Subestación eléctrica del parque*

## **3.4 CONCEPTOS CLAVE**

La operación y mantenimiento de la energía eólica marina implica una amplia gama de actividades. Sin embargo, existen algunos conceptos fundamentales que sustentan cómo los actores clave pueden abordar la O&M. Algunos de los factores más importantes en la formación de O&M son:

- Factor de carga: como medida del desempeño de los activos.

- Mantenimiento correctivo y preventivo: los conceptos básicos para ejecutar un proyecto sin problemas.
- Acceso: superar las limitaciones impuestas a las operaciones por las condiciones meteorológicas y del mar.

### **3.4.1 FACTOR DE CARGA**

La economía de operar y mantener la energía eólica marina requiere un equilibrio entre el dinero invertido en el mantenimiento del proyecto y los ingresos perdidos cuando la generación de energía se ve limitada por problemas técnicos.

Una medida importante del desempeño del proyecto se conoce como factor de carga. El factor de carga es la proporción de tiempo que un aerogenerador, o el parque eólico en su conjunto, es técnicamente capaz de producir electricidad. Por lo tanto, el factor de carga es una medida de la poca electricidad que se pierde debido al tiempo de inactividad del equipo. El equilibrio entre los costos de operación y mantenimiento y la pérdida de ingresos debido a la falta de disponibilidad será diferente para cada proyecto, pero los parques eólicos actuales suelen alcanzar entre un 90% y un 95% de disponibilidad. Los parques eólicos terrestres, que enfrentan costos de operación y mantenimiento mucho más bajos, generalmente logran una mayor disponibilidad de alrededor del 97%.

### **3.4.2 ACCESO**

Uno de los mayores obstáculos para mantener los proyectos eólicos marinos es tener técnicos dentro y fuera de las turbinas y subestaciones para hacer el trabajo. Dos factores principales influyen en el enfoque adoptado para obtener acceso:

- Tiempo de tránsito: el tiempo necesario para trasladar un equipo de servicio desde la base de operación y mantenimiento hasta el lugar de trabajo. Con horas de trabajo limitadas, el tiempo necesario para transportar equipos hacia y desde un trabajo de mantenimiento reduce el tiempo realmente dedicado al mantenimiento de turbinas y otras plantas de energía. Cuanto más lejos esté el sitio del proyecto de la base de

operación y mantenimiento, menos tiempo podrá dedicar el equipo al trabajo activo, dado el mayor tiempo de tránsito y el riesgo de fatiga.

- **Accesibilidad:** la proporción de tiempo que una turbina es accesible de forma segura desde un barco en particular y depende de las condiciones del mar. Por ejemplo, si en un proyecto en particular la altura significativa de las olas es superior a 2 m durante el 40% del tiempo, un barco que. Puede considerarse que la tripulación y el equipo sólo pueden trasladarse en alturas de olas de 2 m o menos que tienen un 60% de accesibilidad. .

Ambos factores dependen, hasta cierto punto, de las condiciones promedio del mar en un lugar particular: accesibilidad más que tiempo de tránsito. La accesibilidad es particularmente crítica para las operaciones de mantenimiento no programadas, ya que el operador del proyecto a menudo no tendrá la capacidad de planificar posibles interrupciones de la producción durante períodos de mares más tranquilos. Al planificar el enfoque de O&M para cualquier proyecto, el propietario buscará reducir el costo total (costo directo y pérdida de producción) buscando formas de reducir el tiempo de tránsito y aumentar la accesibilidad a las turbinas eólicas.

### **3.4.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO**

**Mantenimiento preventivo:** Es un proceso planificado, que se lleva a cabo periódicamente en función de las características del equipo, necesidades específicas y recomendaciones del fabricante.. Su principal objetivo es prevenir averías anticipándose a los posibles problemas antes de que se produzcan. Tiene como objetivo garantizar el buen funcionamiento de los sistemas integrados en un proceso de trabajo u operación. Las acciones de mantenimiento preventivo se realizan de forma proactiva, sin esperar a que los equipos presenten signos de falla. Por ejemplo, puede incluir inspecciones periódicas, lubricación, sustitución de piezas desgastadas, etc.

**Mantenimiento correctivo:** A diferencia del mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo se produce después de que se ha detectado una falla.. Su objetivo es reparar o restablecer el funcionamiento de un equipo tras una avería. El mantenimiento correctivo no

se planifica a largo plazo ni de forma periódica. Interviene cuando se produce o se detecta una avería. Por ejemplo, si una máquina deja de funcionar o tiene problemas, se implementa un mantenimiento correctivo para resolver el problema y restablecer la producción.

En resumen, el mantenimiento preventivo tiene como objetivo prevenir averías mediante la realización de acciones planificadas, mientras que el mantenimiento correctivo se produce después de que se ha detectado una falla, con el objetivo de reparar o restablecer el funcionamiento del equipo.. Estos dos enfoques son esenciales para garantizar la continuidad de las operaciones industriales y la conservación de máquinas, equipos e instalaciones.

### ***3.5 COMO SE REALIZA EL MANTENIMIENTO EN PLANO MAR***

Luego de ver estos puntos clave, podemos ver que el acceso que tiene el parque es muy importante para su óptima producción y lograr su mayor factor de carga. Pero la pregunta es ¿qué tipo de transporte se utiliza para realizar cualquier tipo de operación en el mar? La respuesta que todo el mundo piensa es en barco, vale, pero si tienes que construir un molino de 200 metros, no vale cualquier barco para transportar este tipo de material. Y si hay que poner los cables bajo tierra, ¿qué embarcación utilizas allí? Bueno, esta sección cubre cómo se realizan todas estas operaciones y qué se utiliza para ello:

S O V	El SOV transferirá técnicos, herramientas y equipos para realizar el mantenimiento de rutina en el mar. Generalmente permanecerá en el mar durante 2 semanas y entrará en puerto para cambio de tripulación y reabastecimiento de combustible. Los traslados se podrán realizar mediante una pasarela entre el barco y los Jackets o la Subestación.
-------------	--



*Ilustración 12. Ejemplo de SOV*

C  
T  
V

Los CTV trasladarán técnicos, herramientas y equipos para realizar el mantenimiento rutinario en el mar. A diferencia de los SOV, los CTV regresan a puerto con mayor frecuencia. En este caso el traslado al equipo se realizará mediante el embarcadero.



*Ilustración 13. Ejemplo de CTV*

Nave hija  
SOV

Este barco apoyará al SOV durante los períodos de mantenimiento intenso, con el fin de optimizar la transferencia de personal al equipo. Durante periodos de trabajo más intenso.



*Ilustración 14. Ejemplo de SOV de Daugther Craft*

Recipientes hidrográficos, incluido el recipiente de posicionamiento dinámico (DP)

Estos buques se utilizarán durante las campañas de inspección de cimentaciones sumergidas y permitirán desplegar el robot necesario. También se pueden utilizar para inspecciones del fondo marino. Para esta tarea se pueden utilizar varios tipos y tamaños de embarcaciones diferentes, y la selección de embarcaciones depende del grado de mantenimiento y la disponibilidad en el mercado.



*Ilustración 15. Ejemplo de DP2*

Buque de  
preparación  
del fondo  
marino OSV  
(offshore  
support ship)

Los buques autoelevables sólo pueden asentarse en fondos marinos adecuados para sus pies, por lo que es posible que se requieran buques de preparación del lecho marino para retirar rocas, agregar escollera, etc.



*Ilustración 16. Ejemplo de buque de preparación de fondos*



Barcos autoelevables

Se pueden utilizar embarcaciones autoelevables para el mantenimiento de componentes pesados (en caso de que no sea posible realizar la reparación en el sitio). Este es un mantenimiento correctivo de rutina y ocasionalmente puede realizarse en la flota.



*Ilustración 17. Ejemplo de barco de autoelevación*

Buques tendido de cables y su buque de apoyo.

Estos recipientes serán necesarios en caso de falla o reparación del cable de red. Dependiendo de la gravedad de la interrupción, las reparaciones pueden ser posibles con el reemplazo de una sección de cable y cajas de empalmes, o pueden requerir el reemplazo completo del cable. Los buques tendido de cables están totalmente equipados para realizar cualquiera de las dos opciones. Este es un mantenimiento correctivo de rutina y ocasionalmente puede realizarse en la flota.



*Ilustración 18. Ejemplo de barcos para el tendido de cables*

Para permitir las operaciones en los cables submarinos, estos buques estarán asistidos por buques de apoyo (retirada del cable, preparación de los fondos, etc.).

Otros barcos

Tenga en cuenta que ocasionalmente se movilizarán otros buques en el lugar, en particular para controles de cables y otros estudios técnicos, así como para el seguimiento ambiental del proyecto, que ocasionalmente intervendrán en el parque como parte de operaciones de vigilancia, mantenimiento preventivo o correctivo y ser seleccionados según las necesidades y disponibilidad en el mercado.

- Buques de carga pesada
- Barcos de suministro
- Buques de construcción offshore
- Embarcaciones de asistencia al buceo
- Barcazas

### **3.5.1 OTROS MEDIOS DE ACCESO O INSPECCIÓN**

Durante el funcionamiento del parque se podrán utilizar medios adicionales en el parque, en particular el uso de drones aéreos para la inspección de aerogeneradores o cimientos sobre el suelo. También se está estudiando el uso de USV, también llamados drones navales de superficie, porque optimizarían el tiempo de inspección y limitarían la intervención humana en el mar.



Actualmente no se prefiere el uso de helicópteros para el funcionamiento del parque de Saint-Brieuc, pero en función de las condiciones meteorológicas, los daños registrados durante los primeros años de funcionamiento de este medio de acceso podrían volver a considerarse. Todos los aerogeneradores y la central eléctrica marina cuentan con una plataforma de cabrestante para permitir el acceso o la evacuación médica de emergencia en helicóptero.

### **3.6 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO**

Durante la operación del parque, el personal de O&M de Ailes Marines así como el personal de SIEMENS GAMESA (para las turbinas) serán la primera línea de defensa para afrontar los daños diarios así como la búsqueda y resolución de defectos. En consecuencia, se movilizarán otros proveedores de servicios para apoyar estos diagnósticos y/o mantenimiento.

#### **3.6.1 LAS FUNDACIONES**

Durante el funcionamiento del parque Saint-Brieuc, se espera un gran mantenimiento de los cimientos, tanto en la parte sumergida como en la emergida. Todas estas actividades requerirán recursos logísticos adicionales a los buques permanentes utilizados por el equipo de operación y mantenimiento.

##### Las partes emergidas:

Estarán sujetos a una inspección visual estructural anual realizada desde un buque con prismáticos y/o apoyados en un dron, así como a inspecciones de puntos de anclaje y medios de elevación, inspección de puntos de acceso, etc. Estas inspecciones pondrán de relieve especialmente la necesidad para campañas de pintura/retoque de estructuras con el fin de garantizar una óptima protección contra la corrosión. Se debe mantener todo el equipo de la plataforma, incluida la limpieza del guano de aves en las superficies con agua de mar a alta presión y jabón marino, pero también inspecciones y mantenimiento de todos los equipos instalados (luces/radar/grúa, etc.)

Además, las cimentaciones reciben la conexión de los cables entre aerogeneradores y por tanto requieren un mantenimiento preventivo de los cables, equipos eléctricos y mecánicos así como todas las demás inspecciones reglamentarias (estructurales, mecánicas, eléctricas, de elevación, de equipos de seguridad y de emergencia, ...). Es importante señalar que se presta especial atención al acceso a zonas de marea como escaleras, muelles, etc. para garantizar condiciones óptimas de acceso a los elementos.

Las partes sumergidas:

Estarán sujetos a inspección visual de los elementos estructurales y verificación de no inundación de estos elementos sumergidos así como a inspección de los ánodos. Utilizan vehículos operados a distancia y su frecuencia varía según el tipo de inspección.



*Ilustración 19. Ejemplo del lanzamiento del ROV*

Asociadas o posteriores a estos mantenimientos preventivos, se pueden programar ciertas actividades específicas como:

Actividades que requieren técnicos en trabajos verticales o drones:

- Inspecciones detalladas
- Revestimientos, pinturas, protección contra la corrosión (medición del espesor de la capa protectora de pintura)



*Ilustración 20. Ejemplo de un técnico de trabajos verticales realizando trabajos de pintura en el mar*

- Inspección y reparación de soldadura.
- Reparación y sustitución de elementos estructurales: rejas metálicas, barandillas, puertas, portones, sistema anticaídas, señalización, etc.
- Campaña de apriete/sustitución de pernos.

Actividades que requieren medios de elevación adicionales (barcos):

- Reparación o sustitución de grandes elementos de señalización.
- Reparación o reemplazo de elementos estructurales como reemplazo de escalera, embarcadero, grúas, tubo J

Actividades subacuáticas o en zonas de mareas:

Es importante recordar que el uso de buzos no es la solución preferida durante la operación del parque, sin embargo y dependiendo del trabajo a realizar, es probable que equipos de buzos trabajen en los elementos del parque.

- Inspección y mantenimiento de ánodos.
- Eliminación de elementos marinos (crustáceos, algas) con el uso de karcher instalado en CTV
- Remoción de pesca u otros artículos/escombros enredados en los cimientos
- Instalación de bridas adicionales para sujetar el tubo en J.
- Escolladura adicional si es necesario.

### **3.6.2 CABLES Y FONDO MARINOS**

Los cables operan en un entorno marino altamente dinámico donde pueden volverse vulnerables a daños mecánicos o daños al sistema de aislamiento... Esto requerirá el reemplazo del cable. Los cables quedan especialmente expuestos entre la salida de su zanja y los cimientos.

El monitoreo posterior a la instalación se lleva a cabo para verificar estructuras y cables y cumplir con los pronósticos y supuestos del diseño. Los estudios de cables se llevan a cabo en sinergia con los estudios de cimientos.



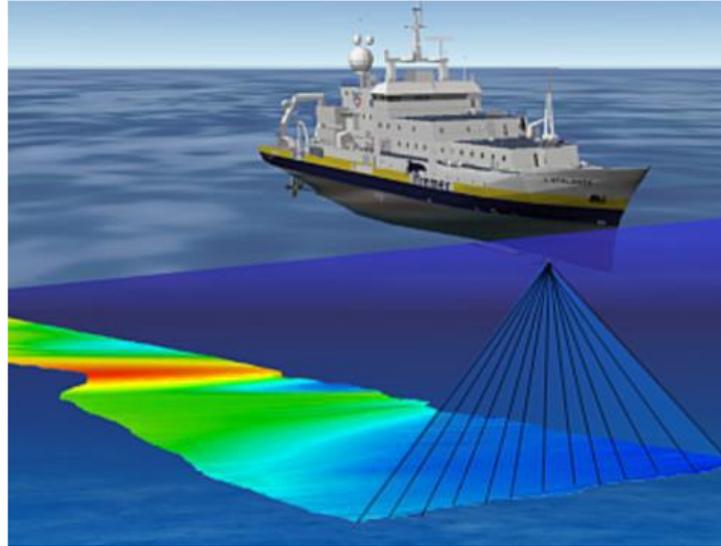
*Ilustración 21. Inspección de cables en el fondo marino*

Tras estas inspecciones, en caso de desgaste o movimiento excesivo del sistema de protección de cables (CPS), éste deberá ser sustituido o puede ser necesaria una armadura adicional.

### **3.6.3 INSPECCIÓN DE FONDO MARINO**

El área mínima de estudio de cimentación es un círculo de 150 m de radio centrado en la ubicación de la turbina o subestación eólica marina. La anchura prevista del corredor de cables es de 25 m a cada lado del recorrido del cable.

Los datos del Side Scan Sonar (SSS) proporcionarán imágenes de sonar de características morfológicas, obstáculos y diferencias en la composición del fondo marino, e identificará todas las instalaciones. Se utilizará una ecosonda multihaz (MBES) para determinar la topografía del fondo marino y la profundidad hasta la marea astronómica más baja.



*Ilustración 22. Ecosondas multihaz (MBES)*

### **3.6.4 VIGILANCIA DE FIBRAS ÓPTICAS**

Los sistemas DTS (Sensor de temperatura distribuido) se utilizan para monitorear la temperatura a lo largo de cables eléctricos utilizando fibras ópticas como sensores de temperatura. El sistema DTS proporciona visualización de perfiles de temperatura (temperatura frente a distancia) a lo largo de la fibra del sensor y proporciona la alarma correspondiente al centro de control.

Después de tormentas y en condiciones climáticas extremas, la estabilidad de los cables se puede medir según el plan de cableado.

### **3.6.5 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO ADICIONALES: ESCOLLERA Y CAMBIO DE CABLE**

Tras las mediciones realizadas en los cables y el fondo marino, se pueden implementar actividades de mantenimiento correctivo si es necesario. Pueden implicar la adición de escollera o la adición de sacos de roca o cualquier otra protección colocada en el fondo marino para proteger los cables. Se discutirán con los servicios estatales. Tenga en cuenta que, en caso de un defecto en el cable, será necesario volver a unirlo o reemplazarlo.

Reemplazar un cable es generalmente la solución preferida porque tiene una mayor durabilidad en comparación con volver a unirlo. Esta actividad es similar al tendido de cables durante la fase de construcción del parque, involucrará barcos y robots que lo permitan; la excavación del cable, otros que permitan retirar e instalar el nuevo cable, barcos que permitan retirar y volver a balancear y posiblemente un barco que permita cortar y rehabilitar la zanja.

### **3.6.6 LAS TURBINAS**

El mantenimiento de los aerogeneradores será realizado por un equipo de técnicos del proveedor de servicios SIEMENS GAMESA. Este equipo estará presente en el sitio durante todo el año para solucionar problemas de las turbinas eólicas y realizar mantenimiento preventivo.

La mayoría de las actividades de mantenimiento se realizarán durante el período estival, cuando el tiempo es más suave, lo que hace más seguro el traslado y limita el impacto en la producción de los aerogeneradores. El mantenimiento realizado por técnicos variará de un año a otro según las pautas del fabricante. Por lo general, harán lo siguiente:

- Mantenimiento de rutina:
  - Apriete y tensado de pernos,
  - Cambios de filtros y aceite,
  - Recargas de refrigerante,
  - Inspecciones eléctricas reglamentarias,
  - Inspecciones reglamentarias de equipos de elevación.
  
- Mantenimiento anual (realizado por diferentes medios, pero con mayor frecuencia se realizará mediante dron equipado con una cámara de inspección):
  - Una evaluación general de la turbina,
  - Una valoración general de las palas.

- Inspecciones adicionales: se organizarán periódicamente repintados o reparaciones de equipos medioambientales (BDS, etc.) con el apoyo de técnicos de trabajos verticales en cuerda.



*Ilustración 23. A la izquierda, ilustración de un técnico de trabajos verticales trabajando en una pala y a la derecha de un dron que está inspeccionando.*

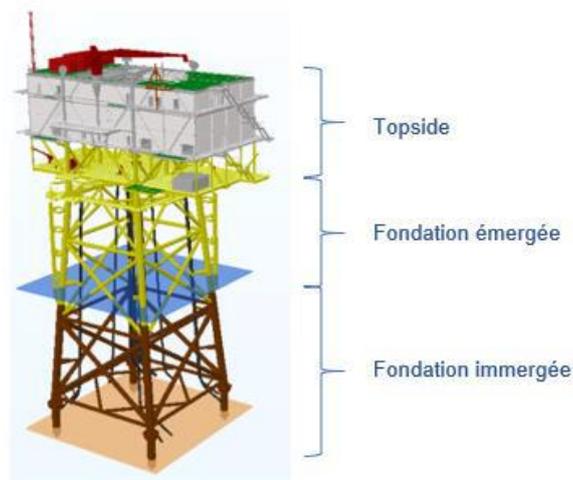
También se llevarán a cabo mantenimientos más importantes con el apoyo de JACK-UP, particularmente para cambios importantes de componentes. En particular, se planificarán las siguientes campañas:

- Reemplazo de góndola
- Reemplazo de cuchillas
- Campaña de sustitución de pernos/comprobación del par de apriete
- Reparación y/o reemplazo de rodamientos del rotor.
- Reparación y sustitución de armarios eléctricos.

### **3.6.7 LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

El mantenimiento de la subestación eléctrica se centra en la parte superior. El mantenimiento de la parte sumergida y emergida de los cimientos de la subestación eléctrica requiere el

mismo mantenimiento que los cimientos de los aerogeneradores. Un equipo de técnicos se dedicará durante todo el año a solucionar problemas y realizar investigaciones iniciales. Dependiendo del fallo, se llamará a proveedores de servicios especializados para solucionar el fallo lo más rápido posible.



*Ilustración 24. Diferentes partes de la subestación eléctrica*

Además de atender averías, la subestación requiere campañas periódicas de mantenimiento preventivo. Cada 3 meses y durante aproximadamente 2 semanas, equipos del proveedor de servicios de la BdP accederán a la subestación para realizar inspecciones visuales y eléctricas de los equipos y garantizar el correcto funcionamiento de la estación. Se planificarán campañas específicas de varias semanas de duración para cubrir las actividades de mantenimiento resultantes de estas inspecciones, incluidas las inspecciones reglamentarias, preferentemente durante los meses de verano, cuando el tiempo es más tranquilo y permite un traslado más seguro.

El mantenimiento que se realiza durante el año y que puede durar varias semanas cubre:

- Controles periódicos (eléctricos y mecánicos, dispositivos de elevación y puntos de anclaje, inspección con cámara térmica para comprobar puntos calientes, control de descargas parciales en HT mediante ultrasonidos, etc.)
- Mantenimiento de transformadores incluyendo análisis y reemplazo de aceite;

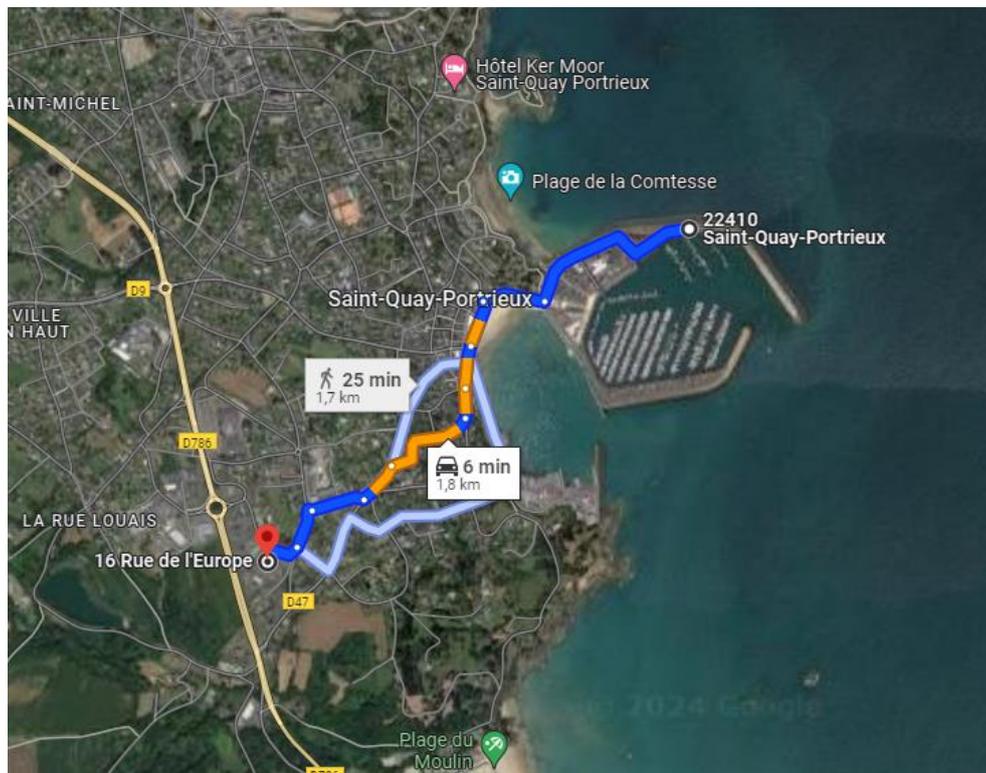
- Mantenimiento y sustitución de armarios eléctricos y cuadros de distribución, incluido el mantenimiento de disyuntores y prueba de inyección para comprobar las alarmas;
- Mantenimiento de unidades de producción de frío con pruebas anuales de estanqueidad, etc.
- Controlar el par de apriete de la conexión eléctrica;
- Reparación y sustitución de elementos estructurales (puertas, revestimientos, etc.)
- Mantenimiento de grúas;
- Mantenimiento preventivo e inspección anual del sistema de detección y extinción de incendios;
- Mantenimiento de grupos electrógenos (análisis de aceite y combustible, drenajes y llenados)
- Mantenimiento del separador de hidrocarburos: separador que permite filtrar las mezclas agua/aceite recogidas por los sumideros de agua “limpia”;
- Vaciado del depósito de recogida de la mezcla agua/aceite;
- Mantenimiento de GIS (aparamenta aislada en gas)
- ...

Se esperan necesidades logísticas adicionales para mantenimientos más pesados, como el reemplazo de pequeñas grúas o elementos de la estructura secundaria.

### ***3.7 BASE DE MANTENIMIENTO Y PUERTO***

Para un proyecto como un parque eólico marino, el mantenimiento es un elemento imprescindible para su correcto funcionamiento. Es por ello que la base de mantenimiento

generalmente se ubica en la costa más cercana al parque eólico y lo más cerca posible del puerto para minimizar el movimiento de equipos y personal. En el presente caso, la base de mantenimiento de la flota de St-Brieuc estará situada en Binic-Étables-sur-Mer, a 1,7 km del puerto de St-Quay Portrieux, desde donde partirán los buques que realizarán el mantenimiento. Esto requerirá comunicación entre la base de mantenimiento y el puerto, así como comunicación entre tierra y mar.



*Ilustración 25. Contexto geográfico*

El flujo de comunicación e información es extremadamente importante para el equipo de operaciones y mantenimiento, ya que ayuda a señalar la disponibilidad de equipos, herramientas.... Para ello, existe un informe diario de SAP, para que los equipos de planificación o compras estén al tanto de lo que sucede.

Una cosa a considerar para este proyecto es la diferencia entre la gente de la zona que habla en invierno y en verano. Es un pueblo pesquero, por lo que durante la temporada de vieiras, que va de octubre a marzo, hay muy poca gente en el centro del pueblo, pero el puerto está lleno de pescadores. En la otra época pasa lo contrario, la ciudad llena de vida, y en el puerto

hay mucha gente en la parte de recreo del puerto pero casi ningún pescador. Debemos tener esto en cuenta para ver qué rutas son las mejores a realizar dependiendo de la temporada en la que nos encontremos.

### **3.7.1 BASE DE MANTENIMIENTO**

El centro de mantenimiento de Binic tendrá varias funciones. Como función principal, servirá como un sitio para almacenar productos pedidos en función de la demanda. Ya sean repuestos, herramientas de trabajo, etc. También habrá oficinas en el primer piso para los trabajadores que realicen el mantenimiento remoto con sala de control. Además, en la planta baja los técnicos de operaciones podrán ducharse y cambiarse para la jornada laboral.

Así, el edificio se divide en dos partes, siendo la primera el hangar donde se almacena el material y la otra las duchas y vestuarios en la planta baja y las oficinas con el centro de control arriba.



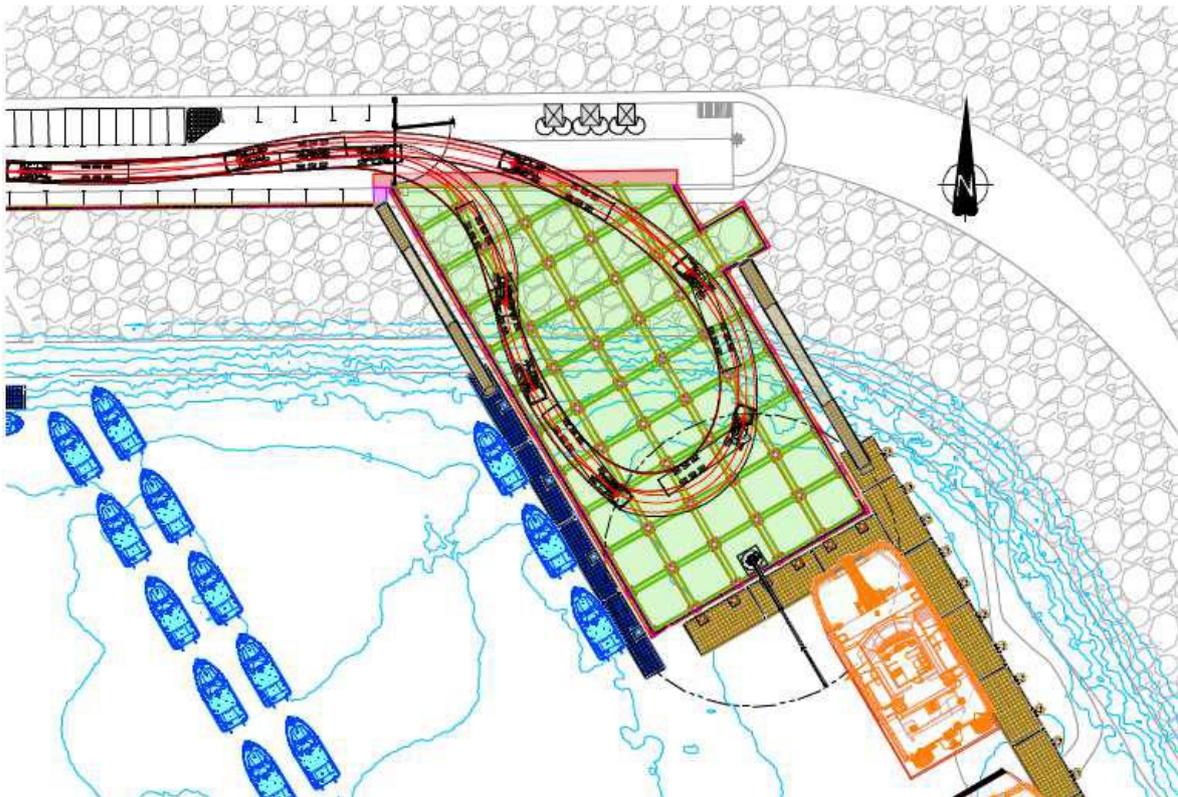
*Ilustración 26. Base de mantenimiento en construcción*

Finalmente, la base cuenta con un gran espacio exterior donde los camiones pueden cargar y descargar mercancías fácilmente. Esto será fundamental para la logística de material y personal, el especialista de almacén deberá trasladar los materiales desde los estantes del almacén hasta el piso, en las bolsas, estas deberán colocarse dentro de los contenedores o cajas de pescado en los camiones. Esto parece un proceso rápido y corto, pero involucra todo tipo de máquinas con sus desafíos.

### **3.7.2 PUERTO DE MANTENIMIENTO**

El puerto se divide en dos zonas, la zona de pesca y la zona de recreo, donde se ubican las embarcaciones privadas. Como comenté antes, hay una gran diferencia de población según la época del año y esto se refleja muy fácilmente en el tráfico de personas en el puerto. De septiembre a abril, el puerto se llena de pescadores ya que es temporada de vieiras, pero la zona de recreo está vacía. Y de abril a agosto viceversa, no hay muchos pescadores pero sí mucho tráfico en la zona recreativa. Iberdrola, tras numerosas negociaciones con los gestores de los puertos de la zona y especialmente con los pescadores, consiguió crear un muelle en la zona de pescadores para nuestros CTV.

Hemos creado una gran plataforma en nuestro muelle, para que los camiones puedan acceder fácilmente a la zona del muelle y descargar las mercancías acercándose a la grúa del muelle.



*Ilustración 27. Ruta del camión de descarga en el puerto*

## **CAPÍTULO 4: ORGANIZACIÓN LOGÍSTICA DEL MANTENIMIENTO**

La organización de la logística es fundamental para el mantenimiento eficiente de un parque eólico marino. Estas instalaciones, ubicadas lejos de la costa, presentan desafíos únicos en transporte, acceso y coordinación de recursos. Una cuidadosa planificación logística garantiza que el equipo y el personal necesarios puedan acceder a los aerogeneradores de forma segura y oportuna, a pesar de las condiciones marítimas, a menudo impredecibles. Además, una gestión logística bien estructurada ayuda a minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la producción de energía, al tiempo que reduce los costos operativos. Así, la logística no sólo soporta las operaciones de mantenimiento, sino que también es un pilar esencial para la sostenibilidad y rentabilidad de los parques eólicos marinos.

### **4.1 *NORMAS HSE***

En un proyecto eólico marino la seguridad y salud laboral son aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta en todas las etapas de desarrollo y operación. En la base de mantenimiento y en el puerto se deben implementar estrictas normas de seguridad para garantizar la protección de los trabajadores y el medio marino.

Como base del mantenimiento, es crucial establecer protocolos de seguridad para el manejo de equipos pesados, almacenamiento de materiales inflamables y prevención de caídas. Se deberán realizar inspecciones periódicas de las instalaciones y equipos para identificar posibles riesgos y garantizar su correcto funcionamiento. Además, es importante brindar capacitación adecuada a todo el personal sobre el uso seguro de herramientas y equipos, así como procedimientos de emergencia en caso de accidente.

En el puerto de salida de los buques para realizar operaciones se deberán implementar medidas de seguridad específicas para la carga y descarga de materiales, así como para la

seguridad de la navegación de los buques. Establecer zonas de exclusión es esencial para garantizar la seguridad de los trabajadores y evitar colisiones entre barcos y otras estructuras marítimas. Además, se deben seguir estrictos protocolos de comunicación y coordinación entre el personal de tierra y a bordo para garantizar un entorno de trabajo seguro.

#### **4.1.1 EPI**

El equipo de protección personal (EPP) es esencial debido a los numerosos riesgos que enfrentan los trabajadores en este entorno. Estos riesgos incluyen alturas extremas, exposición a condiciones climáticas adversas, manejo de maquinaria pesada y la posibilidad de contacto con componentes eléctricos. Los EPP, como arneses, cascos, guantes, gafas protectoras y calzado adecuado, ayudan a mitigar estos peligros, previniendo lesiones graves y potencialmente mortales. Además, el uso adecuado de estos equipos no sólo es exigido por las empresas sino también obligatorio según las normas de seguridad laboral, evitando así sanciones legales.

Además, el uso de EPI también contribuye a la eficiencia operativa y la sostenibilidad del parque eólico. La seguridad de los trabajadores garantiza la continuidad de las operaciones sin interrupciones significativas por accidentes laborales. Esto es esencial para el mantenimiento regular de los aerogeneradores, que requiere un alto grado de precisión y seguridad para evitar fallos mecánicos y maximizar la producción de energía. En resumen, los EPI no sólo protegen a los trabajadores, sino que también garantizan la operatividad continua y eficiente de los parques eólicos, contribuyendo al éxito y la viabilidad a largo plazo de estas instalaciones.



*Ilustración 28. Ejemplo de EPI*

## **4.2 PROCESO DE LA MERCANCÍA Y PAX SOBRE LA BASE**

El proceso de gestión de mercancías en una base de mantenimiento es complejo y rigurosamente organizado. Todo comienza con la recepción y almacenamiento de las piezas y equipos necesarios para el mantenimiento de los aerogeneradores. Estas mercancías suelen llegar por tierra o mar y se controlan cuidadosamente para garantizar que cumplen con las especificaciones requeridas. En el caso de Iberdrola, cualquier entrega deberá notificarse con dos días de antelación a los técnicos de obra y deberá contener la siguiente información:

- Descripción clara
- Identificación o referencia
- Fotografía si es necesario
- Número de objetos,
- Dimensiones y peso de los bultos,
- Cualquier requisito de manipulación especial, como montacargas específico de más de 1,5 T (si corresponde), se debe avisar con 5 días de antelación.
- Tiempo de espera para el almacenamiento (si corresponde)
- La MSDS es obligatoria para todos los productos químicos.
- Tiempo de entrega estimado.

Además, las entregas deben estar documentadas e incluir:

- Un manifiesto completo de entregables,
- Documento de certificación o calificación si corresponde,
- Declaración aduanera si corresponde. Deberá ser proporcionado por el transportista e incluido en los documentos de envío.

Los técnicos del sitio en tierra deben notificar a la seguridad del sitio, al administrador del sitio y a la gerencia de la entrega al menos un día antes de la entrega para otorgar acceso al conductor y organizar controles de seguridad.

Una vez en el lugar, el vehículo de transporte deberá aparcar marcha atrás en la zona de descarga de la estación de servicio y el conductor se dirigirá a la recepción del almacén con los documentos de entrega y los EPI necesarios. Corresponde al técnico de obra en tierra organizar la recepción y almacenamiento de la mercancía de la siguiente manera:

- Todas las comunicaciones/informes deben realizarse por escrito.
- Verificar el manifiesto y confirmar la recepción de mercancías con la cantidad correcta de artículos,
- Informar y documentar (con fotografías) cualquier daño o entregables faltantes e informar al gerente de soporte del sitio.
- Almacenar la mercancía en un lugar claramente designado, garantizar el etiquetado de entrega y registrarlo mediante el software del almacén.
- Guarde la documentación proporcionada,
- Informar al solicitante de la entrega de la llegada del material.



Este se divide en zonas, primero tenemos una zona grande donde se almacenarán todos los equipos no susceptibles a la corrosión ni peligrosos para el personal, como repuestos de gran tamaño. También estarán las carretillas elevadoras que serán necesarias para cargar y descargar el mismo material a los camiones a través de las puertas del garaje instaladas en el hangar.

Existe una zona específica creada para materiales sensibles a la humedad; principalmente piezas eléctricas. Información técnica a tener en cuenta para estos lugares de almacenamiento: temperatura de funcionamiento, sistema de iluminación, calefacción de gasoil, puertas de carga y de personal, etc.

Otro espacio de almacenamiento específico dentro de un almacén para materiales considerados peligrosos por ser inflamables, corrosivos, tóxicos, etc. Esto se realizará en un área específica y el personal con acceso tendrá formación y conocimientos específicos. Los materiales y áreas deben estar correctamente identificados.

#### **4.2.1 CONDICIONES ESPECIALES PARA MATERIAL PELIGROSO**

- Condiciones de almacenamiento: Almacenar únicamente en el recipiente original en un lugar fresco y bien ventilado, lejos de: Fuentes de calor, luz solar directa y materiales incompatibles.

Mantener el recipiente cerrado cuando no esté en uso.

- Productos incompatibles: Bases fuertes, ácidos fuertes.
- Materiales incompatibles: Fuentes de ignición, sensibles a la luz solar directa.
- Temperatura de almacenamiento: 15°C a 20°C

Ignición por calor: MANTENGA LA SUSTANCIA ALEJADA DE: fuentes de calor y fuentes de ignición.

Prohibiciones de almacenamiento mixto:

MANTENGA LA SUSTANCIA ALEJADA DE: agentes oxidantes, agentes reductores, ácidos fuertes, bases (fuertes), halógenos y aminas.

Área de almacenamiento: Almacenar en un lugar fresco. No exponga a la luz solar directa. Almacene en un lugar seco. Guardar en un lugar oscuro. Ventilación a nivel del suelo. Trastero ignífugo. Proporcionar un tanque para recoger los derrames. Equipar el depósito con conexión a tierra. Cumpla siempre con la ley alemana y los requisitos legales locales.

· Normas especiales sobre embalaje:

REQUISITOS ESPECIALES: Cierre, con válvula de alivio de presión, limpio, opaco y correctamente rotulado. Cumpla siempre con los requisitos legales. Embalaje frágil seguro en contenedores resistentes. Materiales de embalaje: MATERIAL ADECUADO: acero, acero inoxidable, acero al carbono, aluminio, hierro, cobre, níquel, bronce o vidrio. MATERIAL A EVITAR: material sintético.



*Ilustración 31. Símbolos de seguridad para almacenaje*

#### **4.2.2 FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL DE LA BASE**

Las responsabilidades del personal de una base de mantenimiento de un parque eólico marino son variadas y requieren una combinación de habilidades técnicas, logísticas y de seguridad. Estas son las principales responsabilidades:

1. Planificación y Coordinación:

- Supervisores de Mantenimiento: Planifican y programan las tareas de mantenimiento, asegurando que todos los recursos necesarios (personal, herramientas, repuestos) estén disponibles.
- Coordinadores de Logística: Gestionan la logística del transporte de equipos y personal hacia y desde el sitio costa afuera, incluida la coordinación con proveedores de transporte marítimo y aéreo.

2. Operaciones de mantenimiento:

- Técnicos de Mantenimiento: Realizan inspecciones, reparaciones y mantenimiento preventivo de los aerogeneradores, asegurando que todos los trabajos se realizan según las normas técnicas y de seguridad.
- Ingenieros: analizan y resuelven problemas técnicos complejos, supervisan las actualizaciones de equipos y sistemas y garantizan que las operaciones de mantenimiento cumplan con las especificaciones técnicas.

3. Gestion de seguridad:

- Gerentes de seguridad: Desarrollan y supervisan protocolos de seguridad, realizan sesiones de capacitación y concientización sobre seguridad y realizan auditorías para garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad.
- Equipos de respuesta a emergencias: están preparados para responder a emergencias, como rescates a gran altitud o incidentes en el mar, y coordinar los esfuerzos de evacuación y atención médica.

4. Gestión de Inventarios y Repuestos:

- Gerentes de stock: controlan el inventario de piezas y herramientas, garantizan que los repuestos estén disponibles cuando se necesitan y gestionan el movimiento de materiales dentro y fuera de la tienda.

- Gerentes de Compras: Son responsables de adquirir repuestos y materiales, negociar con proveedores y asegurar la calidad y tiempos de entrega de los productos.

5. Administración y Documentación:

- Administradores: realizan tareas administrativas como gestión de contratos, programación de personal y coordinación de comunicaciones.
- Especialistas en documentación: mantienen registros detallados de todas las actividades de mantenimiento, informes de inspección y documentación de seguridad, asegurando que toda la información esté actualizada y accesible.

6. Control de Calidad y Mejora Continua:

- Inspectores de Calidad: Comprueban que todos los trabajos de mantenimiento cumplen con los estándares de calidad establecidos y realizan pruebas para garantizar el correcto funcionamiento de los aerogeneradores.
- Analistas de datos: utilizan datos de rendimiento y mantenimiento para identificar áreas de mejora y optimizar las operaciones de mantenimiento.



*Ilustración 32. Planos de la zona de trabajo de la base*

En la imagen de la izquierda se puede ver la zona de la planta baja que será utilizada por los técnicos de mantenimiento. Aquí se ubican los vestuarios con duchas, las salas de reuniones preparatorias y las oficinas de los trabajadores que controlan el stock.

Y en la imagen de la derecha podemos ver la última planta de la base, que servirá como oficinas para el personal encargado de la operación y mantenimiento del parque. Incluye espacios abiertos, un área de seguridad, la sala de control y un área exterior para descanso.

### ***4.3 SALIDA DE MERCANCÍA Y DE PERSONAL***

#### **4.3.1 MERCANCÍA**

El proceso de entrega de mercancías durante una jornada de mantenimiento preventivo de un parque eólico marino comienza con una cuidadosa preparación en el almacén. Los gerentes de almacén revisan la lista de tareas de mantenimiento programadas para el día e identifican todos los repuestos y herramientas necesarios. Los productos pueden incluir piezas mecánicas pesadas como cojinetes o palas, así como componentes eléctricos como cables, transformadores y placas de circuito. Las piezas pesadas suelen transportarse en palés resistentes, mientras que los componentes eléctricos se embalan en contenedores especializados para evitar daños durante el transporte.

A continuación, las mercancías se cargan en vehículos adecuados para su transporte al puerto. Una vez arribada al puerto, la mercancía es trasladada a CTV (Crew Transfer Vessels). Estos buques están diseñados específicamente para transportar los técnicos y equipos necesarios para las operaciones de mantenimiento en alta mar. Las piezas pesadas se aseguran a la cubierta de los CTV mediante sistemas de sujeción de alta resistencia para evitar el movimiento durante el cruce. Los componentes eléctricos y las herramientas más delicadas se colocan en compartimentos protegidos para evitar daños por vibraciones o condiciones marinas.

Al llegar al sitio offshore, las mercancías se descargan cuidadosamente. Los equipos in situ utilizan grúas y equipos de elevación para manipular piezas pesadas y transferirlas a turbinas eólicas específicas que requieren mantenimiento. Los componentes eléctricos y las herramientas más ligeras se transportan manualmente o mediante carros adecuados. Cada etapa de descarga se realiza siguiendo estrictos protocolos de seguridad para garantizar la seguridad de los técnicos y la integridad de la mercancía.

Luego, los técnicos de mantenimiento utilizan las piezas y herramientas para realizar las inspecciones y reparaciones necesarias. Las piezas mecánicas pesadas, como los cojinetes, pueden requerir el uso de grúas u otros equipos de elevación para instalarse correctamente. Los componentes eléctricos se manipulan con cuidado para evitar cortocircuitos o daños. Los técnicos siguen procedimientos detallados para cada tipo de pieza, asegurando que cada paso del mantenimiento se realice de forma correcta y segura.

Después del mantenimiento, las piezas y herramientas no utilizadas se recogen y preparan para su devolución al almacén. Los técnicos se aseguran de que todo esté limpio y en buen estado antes de volver a embalarlo para su transporte. Las mercancías se cargan nuevamente en los CTV para su transporte de regreso a la base. En el viaje de regreso se toman las mismas precauciones para asegurar y proteger la mercancía.

A su regreso, la mercancía se descarga en el puerto y se transporta de regreso al almacén. Una vez en el almacén, las piezas no utilizadas se reinventan y se devuelven a los departamentos correspondientes. El equipo se limpia, se revisa en busca de daños y se almacena adecuadamente para su próximo uso. Cualquier pieza defectuosa se repara o reemplaza para garantizar que estará en buenas condiciones para futuras operaciones de mantenimiento.

Finalmente, cada paso del proceso se documenta en detalle. Los informes de mantenimiento se actualizan con detalles de las piezas utilizadas y el trabajo realizado. Esta documentación no sólo permite llevar un registro preciso de las operaciones, sino también optimizar futuras operaciones de mantenimiento identificando las necesidades de recursos y mejorando los procedimientos logísticos.

#### **4.3.2 PERSONAL**

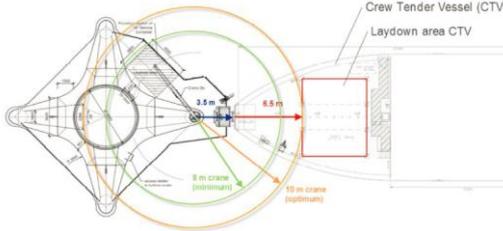
El proceso de gestión de personal en la base de mantenimiento es una operación metódica que garantiza la seguridad y eficiencia de los equipos de mantenimiento. Estos son los pasos clave en este proceso:

1. **Planificación y preparación:**La planificación comienza mucho antes de la salida. Se revisan los horarios de trabajo, las condiciones climáticas y las necesidades de personal para planificar las rotaciones de turnos. Los técnicos reciben instrucciones sobre las tareas a realizar, condiciones de seguridad y protocolos de emergencia.
2. **Registro e información:**Antes de partir, los técnicos se presentan en la base donde están registrados y reciben un informe detallado sobre la misión del día. También revisan su equipo de protección personal (EPI) para asegurarse de que esté en buenas condiciones.
3. **Transporte al Sitio Offshore:**El transporte desde la base de mantenimiento será mediante lanzadera una vez finalizada la sesión informativa. Dependiendo de la época del año, habrá uno o más lanzaderas para realizar este trayecto. En verano, cuando hay hasta tres CTV funcionando en el parque, también hay hasta tres lanzaderas que transportan al personal de un sitio a otro. En invierno, cuando solo haya un CTV, solo habrá un servicio de transporte. Una vez que todos llegan al puerto, son transportados al parque en los CTV.
4. **Llegada y Traslado:**Al llegar al sitio, los técnicos son trasladados a las turbinas eólicas mediante cápsulas, escaleras o sistemas de transferencia costa afuera especializados. Cada traslado se realiza cumpliendo estrictamente los protocolos de seguridad.
5. **Los trabajos de mantenimiento:**Una vez en el sitio, las cuadrillas llevan a cabo trabajos de mantenimiento planificados, que pueden incluir inspecciones, reparaciones o actualizaciones de equipos. El cumplimiento de los protocolos de seguridad es fundamental en cada paso.
6. **Regreso a la Base:**Después de completar sus tareas, los técnicos son transferidos de regreso a los CTV para regresar al puerto y viajar de regreso a la base. A su llegada, participan en una sesión informativa para hacer balance de la misión e informar de cualquier problema encontrado.
7. **Documentación y Seguimiento:**Cada misión está cuidadosamente documentada. Los informes de misión incluyen el trabajo realizado, las condiciones encontradas y cualquier observación relevante para mejorar operaciones futuras.

#### **4.4 EQUIPO UTILIZADO PARA EL TRANSPORTE**

En esta sección se analiza el significado y uso de los equipos de maquinaria utilizados para el movimiento, almacenamiento, control y protección de materiales, bienes y productos durante todo el proceso.

Apellido	Ejemplo	Descripción
Pallets		Los pallets se utilizan para almacenar y dejar caer los materiales desde las estanterías mediante la carretilla elevadora hasta el CTV mediante la grúa. Todas las operaciones de elevación se realizarán según la normativa vigente.
Caja de pescado		Basándose en experiencias previas con otros parques eólicos marinos y las mejores prácticas de trabajo de Siemens, las cajas de pescado se utilizarán para transportar repuestos directamente o para levantar bolsas.
Bolsas elevadoras		Se utilizarán bolsas elevadoras para herramientas y repuestos. Se almacenarán diferentes tamaños y formas en cajas de pescado o directamente en cubierta.
Horquilla elevadora manual y carretilla elevadora.		Los montacargas se utilizarán principalmente en el almacén y el puerto para mover materiales dentro del almacén y desde el almacén hasta el muelle. Desde allí, el personal utilizará el elevador manual para mover materiales a contenedores, cajas de pescado y bolsas elevadoras o por todo el CTV en caso de que sea necesario. Los operadores deben estar calificados.

<p>Carretilla elevadora/grúa móvil</p>		<p>La carretilla elevadora/grúa móvil es un elemento clave en las operaciones “de costa a barco”. Moverán todas las bolsas elevadoras, cajas de pescado con repuestos al CTV. Los operadores deben estar calificados.</p>
<p>CTV</p>		<p>El CTV se proporcionará en el sitio y tendrá una capacidad de 24 por persona y espacio en cubierta disponible para permitir una capacidad de almacenamiento mínima de al menos 4 contenedores equivalentes a 10 pies. Debido al alcance de la grúa en el aerogenerador, la elevación sólo se puede realizar desde la parte delantera de la plataforma de carga.</p>
<p>Grúa para piezas de transición</p>		<p>Una vez que el CTV haya llegado al WEC, la grúa de la sala de transición levantará las bolsas desde el barco hasta la plataforma. Capacidad = 2 toneladas.</p>
<p>Grúa palfinger</p>		<p>La grúa Palfinger puede mover materiales desde el exterior o el interior a través de la torre de un aerogenerador.</p>

<p>Puente rodante</p>		<p>Dentro de la cápsula se encuentra esta grúa que le permite mover objetos dentro de la cápsula o levantar objetos desde la plataforma hasta la cápsula. Esto se hará en toda la torre.</p>
-----------------------	---	--

#### 4.4.1 Excepciones para los medios de transporte especiales

Si carga materiales peligrosos, estos deben colocarse en un contenedor/embalaje exterior separado, ya que los materiales no se pueden mezclar; en cumplimiento de todas las leyes.

Aparte del equipo ordinario, el peso máximo de los componentes que se pueden elevar hacia/desde un CTV es de 1.475 kg netos (ya sea utilizando la grúa terrestre o de plataforma).

Descripción del nivel 1	Nombre del artículo	Dimensiones (m)	Peso total (kg)	Principal medio de transporte
GENERADOR DE SISTEMA	GENERADOR	3.0x2.0	30.000	Jack-up
SISTEMA DE CAJA DE CAMBIOS	CAJA DE CAMBIOS	4.0x3.5	102.000	Jack-up
EJE PRINCIPAL	EJE PRINCIPAL	4.0x4.0	87.000	Jack-up
CUCHILLA	COJINETE DE CUCHILLA	5.0x0.5	13.000	Jack-up
CUCHILLA	CUCHILLA	87,0x5,8	36.000	Jack-up
TRANSMISIÓN	MSA+CAJA DE CAMBIOS+GENERADOR	4.0x9.5	216.000	Jack-up

TRANSMISIÓN	CAJA DE CAMBIOS+GENERADOR	4x5.5	133.000	Jack-up
SISTEMA TRANSFORMADOR	TRAFO PRINCIPAL COMPLETO	4.5x1.4x4.0	18.000	OSV (DP2)
SISTEMA GENERADOR	CARTUCHO DE COJINETE	1,2x1,2x1,0	3.875	OSV (DP2)
COMPL. ROTOR DEL SISTEMA DE PASOS	CILINDRO PASO GLUAL 220x140x1602	3.00x0.35x0.35	1.475	CTV
SISTEMA DE EJE DE ALTA VELOCIDAD	SOBRECARGA DEL DISCO EMBRAGUE-FRENO	1,5x1,5x0,3	1.375	CTV
SISTEMA TRANSFORMADOR	TRAFO COMPLETO	1,1x0,8x1,1	1.255	CTV
SISTEMA DE CAJA DE CAMBIOS	COJINETE PARA EJE DE ALTA VELOCIDAD MOD.	1,2x0,8x0,8	1.030	CTV
SISTEMA DE LUBRICACIÓN CON ACEITE	ACEITE MÓVIL SHCXMP 320	3.07x1.49x1.34	5.000	Jack-up
CONVERTIDOR	MÓDULO CONVERTIDOR	3.5x1.39x2.46	10.00	Jack-up

En el caso de que se transporten piezas de repuesto inusuales/más grandes (enumeradas anteriormente) en el CTV, se almacenarán directamente en un estante de transporte en la cubierta del CTV (preferiblemente en una posición de elevación directa) o en un contenedor estándar en alta mar. envase.

#### **4.5 GESTIÓN DE RESIDUOS**

Todo comienza con la identificación y clasificación de los residuos. Existen principalmente tres tipos de residuos: mecánicos, eléctricos y peligrosos. Los desechos mecánicos incluyen piezas desgastadas o dañadas, como cojinetes y palas, mientras que los desechos eléctricos

incluyen cables y componentes electrónicos defectuosos. Los residuos peligrosos, como los aceites y lubricantes usados, requieren una atención especial.

Una vez identificados, estos residuos se recogen y almacenan temporalmente en el sitio costa afuera en contenedores apropiados. Técnicos de mantenimiento, formados para separar diferentes tipos de residuos, se encargan de que todo esté correctamente clasificado desde el primer momento. Los residuos peligrosos se colocan en contenedores especialmente diseñados para evitar fugas o contaminación.

Luego, los residuos se transportan a la base a bordo de los CTV. A su llegada, se descargan cuidadosamente y se trasladan a zonas específicas de almacenamiento temporal. El tratamiento de residuos comienza con el reciclaje de componentes mecánicos y eléctricos, cuando sea posible. Los metales, por ejemplo, pueden fundirse y reutilizarse. Los residuos peligrosos se envían a instalaciones de tratamiento especializadas, donde se eliminan de forma segura y de acuerdo con la normativa medioambiental. Los residuos no reciclables se envían a vertederos autorizados o se incineran en instalaciones respetuosas con el medio ambiente.

Cada paso del proceso está rigurosamente documentado. Esto incluye la identificación de tipos de residuos, cantidades generadas, métodos de transporte y procedimientos de tratamiento o eliminación. Esta documentación garantiza que todos los residuos se gestionan de acuerdo con la normativa y ayuda a identificar oportunidades de mejora para reducir aún más el impacto ambiental.

La formación y la sensibilización también desempeñan un papel crucial. Los empleados reciben capacitación periódica sobre las mejores prácticas de gestión de residuos y protocolos de seguridad para el manejo de residuos peligrosos. Se realizan campañas de sensibilización para promover una cultura de reducción de residuos y respeto al medio ambiente dentro del equipo de mantenimiento.

## 4.6 DEVOLUCIÓN DE PIEZAS

En caso de piezas no utilizadas, como piezas contingentes destinadas a la actividad offshore o una pieza dañada, los repuestos deberán devolverse al almacén con la hoja de devolución de repuestos cumplimentada y firmada. Inventario de almacén actualizado a través del sistema de gestión de almacén WASP.

Los repuestos no utilizados no se pueden almacenar en las oficinas y deben devolverse inmediatamente después del final de la actividad al técnico de obra en tierra si es necesario.

El técnico del sitio en tierra recibirá las piezas no utilizadas, verificará su estado en busca de daños y las devolverá al área de almacenamiento de envíos con la documentación adjunta si la inspección del estado lo permite.

El software de inventario también debe actualizarse en consecuencia.

En caso de devolución de un repuesto dañado, el paquete responsable de la devolución de las piezas especificará si es necesaria o no una pieza nueva. En caso afirmativo, la paquetería encargada deberá reponer las piezas dañadas y en caso negativo, se deberá seguir el plan de gestión de residuos.

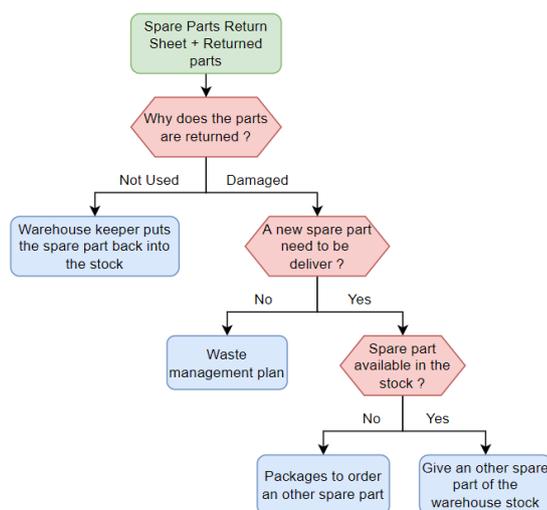


Ilustración 33. Logigrama de las piezas sobrantes

## **4.7 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

El proyecto de operación y mantenimiento del parque eólico offshore de St-Brieuc se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, contribuyendo de las siguientes maneras:

### **1. ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante**

Este proyecto se centra en la generación de energía renovable a través de la eólica offshore, que es una fuente de energía limpia y sostenible. Al optimizar el mantenimiento y la operación del parque, se asegura una mayor eficiencia en la producción de energía, lo que contribuye a un suministro más estable y asequible de energía no contaminante.

### **2. ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**

La operación y mantenimiento del parque eólico offshore requiere el uso de tecnologías avanzadas e innovaciones en logística y gestión de activos. Al mejorar estas áreas, el proyecto promueve la infraestructura sostenible y la industrialización inclusiva, apoyando el desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas en el sector energético.

### **3. ODS 13: Acción por el Clima**

Al contribuir al aumento de la capacidad instalada de energías renovables, este proyecto ayuda a mitigar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El enfoque en la eficiencia y la optimización del mantenimiento también minimiza los impactos ambientales asociados con las operaciones de mantenimiento en alta mar.

### **4. ODS 14: Vida Submarina**

El proyecto también toma en cuenta la minimización del impacto en los ecosistemas marinos. Al aplicar prácticas de mantenimiento sostenibles y tecnologías que reducen la huella ecológica, se contribuye a la conservación y uso sostenible de los océanos, mares y recursos marinos.

Estos ODSs son fundamentales para orientar el proyecto hacia un desarrollo más sostenible y responsable, asegurando que las operaciones no solo sean económicamente viables, sino que también generen un impacto positivo en el medio ambiente y las comunidades.

## 1. BIBLIOGRAFÍA

- Iberdrola. (s.f.). **Nuestra Empresa. Recuperado el 10 de julio de 2024, de** <https://www.iberdrola.com/about-us/our-company>
- Iberdrola. (s.f.). **Parque eólico en el mar de Saint-Brieuc. Recuperado el 17 de julio de 2024, de** <https://www.iberdrola.com/about-us/what-we-do/offshore-wind-energy/saint-brieuc-offshore-wind-farm>
- Iberdrola. (s.f.). **Parque eólico offshore de Saint-Brieuc. Recuperado de** <https://www.iberdrola.com/about-us/what-we-do/offshore-wind-energy/saint-brieuc-offshore-wind-farm>
- EDP. (s.f.). **Eólicas en alta mar. Recuperado de** <https://www.edp.com/es/historias-de-edp/eolicas-en-alta-mar>
- RTE France. **"Conectar las energías marinas renovables." Disponible en:** <https://www.rte-france.com/projets/raccorder-les-energies-marines-renouvelables>. **[Consultado el 17 de julio de 2024].**