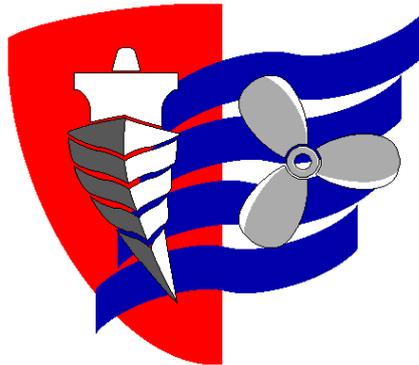


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Máster*

## Manual de descarga de componentes eólicos.

Wind turbines discharge manual.

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN MARÍTIMA**

Autor: Adrián Romay Romero

Director: Francisco José Correa Ruiz

Septiembre - 2023

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

*Trabajo Fin de Máster*

**MANUAL DE DESCARGA DE COMPONENTES  
EOLICOS.**

---

WIND TURBINES DISCHARGE MANUAL.

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN MARÍTIMA**

September – 2023

# Índice General

Índice General .....	3
Tabla de ilustraciones: .....	5
1 Resumen y palabras clave.....	7
2 Introducción.....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Naturaleza del trabajo .....	9
2.3 Contexto técnico .....	9
2.4 Justificación .....	10
2.5 Objetivos.....	11
2.6 Relevancia.....	11
3 Memoria descriptiva.....	12
3.1 Planteamiento del problema.....	12
3.2 Herramientas de resolución. ....	13
3.3 Metodología .....	13
4 Aplicación Práctica.....	14
4.1 Descripción de la carga manipulada.....	14
4.2 Secciones de torres. ....	16
4.2.1 Medidas.....	16
4.2.2 Procedimientos de descarga.....	18
4.2.2.1 Grilletes. ....	18
4.2.2.2 J-Hook.....	21
4.2.2.3 Eslinga.....	26
4.2.3 Elección del procedimiento de descarga. ....	29
4.2.4 Carga en camiones .....	33
4.3 Nacelle.....	34
4.3.1 Medidas.....	34
4.3.2 Procedimiento de descarga. ....	35
4.3.3 Carga en el camión.....	39
4.4 Transmisión. ....	40
4.4.1 Medidas.....	40
4.4.2 Procedimiento de descarga. ....	40
4.4.3 Carga en camión.....	42
4.5 Rotor.....	43
4.5.1 Medidas.....	43

4.5.2	Procedimiento de descarga. ....	43
4.5.3	Carga en el camión.....	47
4.6	Palas.....	48
4.6.1	Medidas.....	52
4.6.2	Procedimiento de descarga. ....	52
4.6.3	Carga en camión.....	57
5	Conclusiones .....	59
6.	Referencias Bibliográficas .....	60

## Tabla de ilustraciones:

Ilustración 1 Orejetas de izado. Fuente: Autor. ....	17
Ilustración 2 Estibadores haciendo firme la torre al aparejo. Fuente: Autor. ....	19
Ilustración 3 Aparejo de eslingas y grilletes. Fuente: Autor. ....	20
Ilustración 4 Torre manipulada con eslingas y grilletes. Fuente: Autor. ....	20
Ilustración 5 J-Hook VT291223. Fuente: Autor. ....	22
Ilustración 6 Grosor y altura de la brida. Fuente: Autor. ....	23
Ilustración 7 'Mafi' con distintos J-Hook en el muelle. Fuente: Autor. ....	24
Ilustración 8 Ventana abierta en la parte superior de la lona. Fuente: Autor. ....	24
Ilustración 9 Torre manipulada con 'J-Hook'. Fuente: Autor. ....	25
Ilustración 10 Estibadores manejando la eslinga. Fuente: Autor. ....	27
Ilustración 11 Torre manipulada con eslinga. Fuente: Autor. ....	28
Ilustración 12 Torres estibadas en el entrepuente. Fuente: Autor. ....	29
Ilustración 13 Torre manipulada con grilletes. Fuente: Autor. ....	30
Ilustración 14 Torres estibadas en dos alturas en cubierta. Fuente: Autor. ....	31
Ilustración 15 Torres estibadas en bodega. Fuente: Autor. ....	32
Ilustración 16 Torre siendo cargada en el camión. Fuente: Autor. ....	33
Ilustración 17 Bodega cargada con Nacelle. Fuente: Autor. ....	35
Ilustración 18 Estibadores subiendo al nacelle. Fuente: Autor. ....	36
Ilustración 19 Nacelle con la bolsa en la parte superior. Fuente: Autor. ....	37
Ilustración 20 Eslinga hecha firme en el punto de anclaje. Fuente: Autor. ....	37
Ilustración 21 Nacelle en bodega. Fuente: Autor. ....	38
Ilustración 22 Nacelle cargado en el camión, con detalles de sus elementos de trinca. Fuente: Autor. ....	39
Ilustración 23 Transmisión izada con el aparejo. Fuente: Autor. ....	41
Ilustración 24 Transmisión cargada y asegurada en el camión. Fuente: Autor. ....	42
Ilustración 25 Rotor con su aparejo de izado. Fuente: Autor. ....	44
Ilustración 26 Gancho hecho firme a la brida del rotor. Fuente: Autor. ....	45
Ilustración 27 Estibador manejando el polipasto. Fuente: Autor. ....	46
Ilustración 28 Estibador manipulando el elemento de conexión al otro punto de izado. Fuente: Autor. ....	46

Ilustración 29 Rotor cargado en el camión. Fuente: Autor.....	47
Ilustración 30 Posición de las palas en cubierta. Fuente: Marinetraffic.....	49
Ilustración 31 Bases de las palas durante la descarga. Fuente: Autor.....	49
Ilustración 32 Detalle de las bases de la pala. Fuente: Autor.....	50
Ilustración 33 Elementos utilizados para apilar las torres. Fuente: Autor.....	50
Ilustración 34 Palas cargadas en cubierta. Fuente: Autor.....	51
Ilustración 35 Twistlocks utilizados. Fuente: Autor.....	51
Ilustración 36 Elementos auxiliares para la estiba. Fuente: Autor.....	51
Ilustración 37 Códigos de las palas. Fuente: Autor.....	52
Ilustración 38 Secuencia de descarga. Fuente: Autor.....	53
Ilustración 39 Palas izadas con eslingas. Fuente: Autor.....	55
Ilustración 40 Palas izadas con eslingas. Fuente: Autor.....	56
Ilustración 41 Pala cargándose en el camión. Fuente: Autor.....	57
Ilustración 42 Código en el interior de la pala. Fuente: Autor.....	58

# 1 Resumen y palabras clave

## **Resumen**

La energía eólica es una fuente de energía renovable en crecimiento y fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles. Los molinos eólicos son clave en esta tecnología, ya que convierten la energía cinética del viento en electricidad y el transporte por mar de los elementos que lo componen es una parte crítica para el desarrollo de los campos eólicos. En el presente trabajo de fin de máster, se ha realizado un manual de descarga para los distintos elementos que componen un molino eólico, este manual tiene como objetivo prestar los conocimientos para garantizar una descarga segura y eficiente.

Este documento ha sido elaborado en base a la experiencia adquirida en dos puertos de Suecia en los cuales el autor trabajó de inspector, teniendo como tareas la supervisión del proceso de descarga y la documentación de los desperfectos presentes en los componentes, por lo tanto, no presenta problemas de confidencialidad. Su accesibilidad y objetividad permitirán su aplicación práctica por parte de estibadores, oficiales de buques e inspectores. También se pretende que sirva como base modificable para adaptarse a diferentes situaciones y necesidades cuando se trabaje con molinos de distinto tamaño o con elementos de trincaje nuevos.

Para cada componente se ha elaborado un apartado en el que se describen sus dimensiones, otro en el que se detalla el proceso de descarga mediante un procedimiento e imágenes descriptivas del mismo y finalmente la carga en el camión utilizado para mover los componentes desde el costado del buque hasta la zona de almacenamiento.

## **Palabras clave:**

Manual, Proceso, Molino eólico, Descarga, Manipulación.

## **Abstract**

Wind energy is a growing renewable energy source that plays a vital role in reducing greenhouse gas emissions and dependence on fossil fuels. Wind turbines are key in this technology as they convert the kinetic energy of the wind into electricity, and the maritime transport of their components is a critical part of wind farm development. In this master's thesis, a discharge manual has been created for the various elements that make up a wind turbine. The objective of this manual is to provide the knowledge necessary to ensure a safe and efficient discharge process.

This document has been developed based on the experience gained in two ports in Sweden where the author worked as an inspector, overseeing the discharge process and documenting any component damages. Therefore, it doesn't present confidentiality issues. Its accessibility and objectivity allow for practical application by stevedores, ship's officers, and surveyors. It is also intended to serve as a modifiable foundation to adapt to different situations and needs when working with turbines of different sizes or new rigging components.

For each component, a section has been created that describes its dimensions, another section provides detailed information on the discharge process through a procedure and descriptive images, and finally, the loading onto the truck used to move the components from the ship's side to the storage area is explained.

### **Key words:**

Manual, Process, Windmill, Discharge, Handling.

## 2 Introducción

### 2.1 Antecedentes

La energía eólica es una de las principales fuentes de energía renovable en el mundo, y su importancia está en constante crecimiento debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles, como uno de los objetivos de la agenda 20/30. Los molinos eólicos son una parte esencial de esta tecnología, ya que son los encargados de convertir la energía cinética del viento en electricidad.

Una de las operaciones críticas en el desarrollo de un parque eólico es la manipulación de los componentes que conforman los molinos en el ámbito marino ya que es el único medio viable en la mayoría de los casos a la hora de cubrir la gran distancia que separa las fábricas donde se construyen los equipos con los puntos de instalación. Esta tarea requiere una gran cantidad de planificación, coordinación y ejecución para garantizar que se realice de manera segura y eficiente.

### 2.2 Naturaleza del trabajo

El propósito de este trabajo de fin de máster es la elaboración de un manual que sea accesible a todo aquel trabajador que necesite información sobre la descarga de componentes eólicos, teniendo como objetivo específico la elaboración de un procedimiento para la descarga de cada tipo de componente.

### 2.3 Contexto técnico

En cuanto al contexto técnico de la operativa, los componentes de eólicos se tratan en la categoría de carga de proyecto.

La carga de proyecto se refiere a elementos que no se pueden acomodar en los métodos y equipos utilizados para la carga estandarizada debido a su tamaño, forma, peso o características únicas. Estas cargas requieren un enfoque personalizado y soluciones adaptadas a sus necesidades específicas durante su

manipulación y transporte. Según el Capítulo 6 del Solas “Se tomarán precauciones apropiadas durante el embarque y el transporte de cargas pesadas y de cargas de dimensiones anormales para garantizar que el buque no sufra daños estructurales y para mantener una estabilidad adecuada durante todo el viaje” (Organización Marítima Internacional (OMI), 1974).

Por lo general, implican un mayor nivel de complejidad y requieren una planificación detallada y la utilización de equipos y técnicas especializadas.

En el caso de estudio cada componente disponía de sus elementos de trincaje facilitados por la empresa de molinos eólicos y en cada caso se utilizaba un tipo de camión para su transporte de primera a segunda línea del muelle, por lo tanto, cada pieza se manipulaba de una manera.

## 2.4 Justificación

Según la Agencia Internacional de la Energía Renovable, en 2022, la capacidad eólica instalada en Europa alcanzó los 240,6 GW, lo que representa un aumento del 55% desde los últimos 10 años (IRENA, 2022), en el siguiente gráfico se puede ver el incremento gradual producido desde el año 2012 hasta el año 2022.

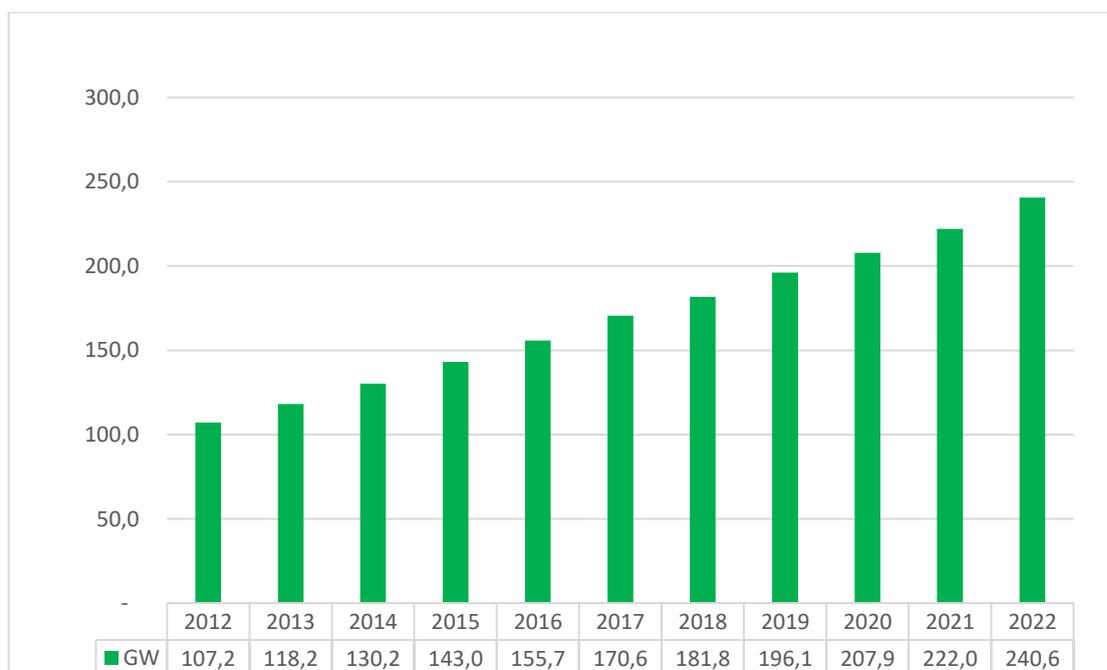


Gráfico 1 Energía Eólica generada en Europa desde el año 2012 hasta el 2022. Fuente: IRENA

La información obtenida en el gráfico demuestra que el transporte de componentes de molinos eólicos es un trabajo con proyección al alza lo cual implica que cada vez se necesitará una mayor cantidad de personal formado en el manejo de estos componentes.

## 2.5 Objetivos

El objetivo de este trabajo académico es desarrollar un manual operativo para la descarga de componentes de molinos eólicos. Este manual se enfocará en las mejores prácticas para planificar, coordinar y ejecutar esta operación crítica, con el objetivo de garantizar una descarga segura y eficiente.

Este documento tiene como objetivo brindar conocimientos previos a los trabajadores que carecen de experiencia en operativas relacionadas con componentes de molinos eólicos. Su propósito es prepararlos para comenzar a trabajar en este campo específico. Además, se pretende que este documento sirva como base modificable para adaptarlo a las necesidades de empresas y trabajadores en situaciones en las que se manejen componentes de distinto modelo, que requieran dimensiones distintas o incorporen sistemas de manipulación de diferentes.

## 2.6 Relevancia

La relevancia de este documento radica en su accesibilidad y objetividad. Debido a que se ha elaborado en base a la experiencia adquirida por el autor, no existen problemas de confidencialidad asociados. Como resultado, el documento podrá ser aplicado en situaciones prácticas por estibadores, oficiales de buques e inspectores.

## 3 Memoria descriptiva

### 3.1 Planteamiento del problema

El fin de este trabajo de fin de máster es proporcionar una guía que sirva a los trabajadores que tengan la opción de empezar a ejercer la profesión de inspector en la carga o descarga de componentes de molinos eólicos, pero no tengan los conocimientos previos necesarios o no puedan encontrar información ya que ésta suele ser confidencial y difícil de encontrar.

Este puesto de trabajo requiere información detallada sobre los procedimientos, técnicas y herramientas necesarias para llevar a cabo las diferentes actividades de la tarea, en la práctica se encontró que los documentos facilitados por la empresa de molinos eólicos para su manipulación tenían un gran inconveniente explicado a continuación:

No había procedimientos al uso, es decir, para realizar una operación se tenía que buscar la información de interés en diferentes documentos, de los cuales algunos ni existían, por lo que para poder informarse sobre el modo de proceder en las distintas posibles situaciones que se pueden dar durante la descarga de un buque, se tenía que dedicar una gran cantidad de tiempo en ir filtrando la información de interés.

Para realizar una operación de izado de un componente con una grúa para cargarlo en un camión se tenían que disponer de los siguientes documentos:

Documento 1: Información sobre todos los modelos del catálogo de la compañía donde se tenía que extraer la información de interés, en este caso peso, medidas y puntos de izado del componente de interés.

Documento 2: Información sobre los equipos disponibles para manipular cada componente.

Documento 3: Información sobre condiciones para el manejo de los componentes: Atmosféricas, inclinación y tipo de terreno ...

Documento 4: Instrucciones de posicionado y trincado en el camión. (No existía)

## 3.2 Herramientas de resolución.

La solución al problema planteado consistió en la elaboración de este manual, el cual se construyó recopilando información durante las operaciones de descarga de los diversos componentes. Para ello, en primer lugar, se examinó la documentación proporcionada por la empresa para filtrar la información de interés y posteriormente, se complementó con la experiencia adquirida durante las operativas en la que se fueron documentando los distintos tipos de actividades comunes que se llevaban a cabo a lo largo de la descarga y almacenamiento de los componentes de los molinos hasta su envío al campo eólico. Este proceso permitió seguir las directrices de la empresa aplicadas a un procedimiento ilustrado, además en este procedimiento se incluyeron las soluciones dadas a los problemas planteados durante las operativas. El resultado es un texto de fácil acceso que sirva como manual tanto para trabajadores sin experiencia en este sector como para personal con experiencia que necesite un texto al que acudir para consultar dudas.

## 3.3 Metodología

Este manual se ha escrito en base a la experiencia obtenida en el puerto de Umeå (Suecia) en el que se trabajó con molinos eólicos de la clase V-136 y se ha complementado con información obtenida en el puerto de Skellefteå (Suecia) en el que se trabajó con la misma clase de molinos, en ambos puertos se realizó un trabajo de inspector en el que se coordinó la descarga y se inspeccionaron los distintos elementos que conforman los molinos para documentar los desperfectos encontrados. La duración del trabajo realizado comprende desde Junio hasta Noviembre periodo durante el cual se manipularon 840 componentes repartidos en 14 buques para un campo eólico de 84 molinos.

Una vez advertido el problema de la falta de un proceso, se documentó cada operativa para elaborar el procedimiento a seguir con cada tipo de componente. Para ello, los informes realizados durante las descargas fueron utilizados para documentar los desperfectos encontrados en las piezas y los daños ocasionados durante la manipulación de los componentes. Esto permitió identificar las situaciones críticas durante la descarga y las áreas de las piezas más susceptibles a sufrir daños.

## 4 Aplicación Práctica.

### 4.1 Descripción de la carga manipulada.

A continuación, se describirá la carga manipulada, así como sus dimensiones. El trabajo se ha realizado con molinos eólicos con un diámetro de rotor de 136 m este tipo de molino de uso terrestre dispone de una turbina eólica capaz de suministrar energía a partir de una velocidad de viento de 3 m/s hasta una velocidad de corte de 22.5 m/s (Vestas, 2015).

En el siguiente gráfico podemos ver la curva de potencia de este modelo de molino eólico en la cual a partir de una velocidad de 10 m/s se alcanza la potencia máxima de suministro eléctrico de 3,500 kW (Pierrot; Michaël, 2015).

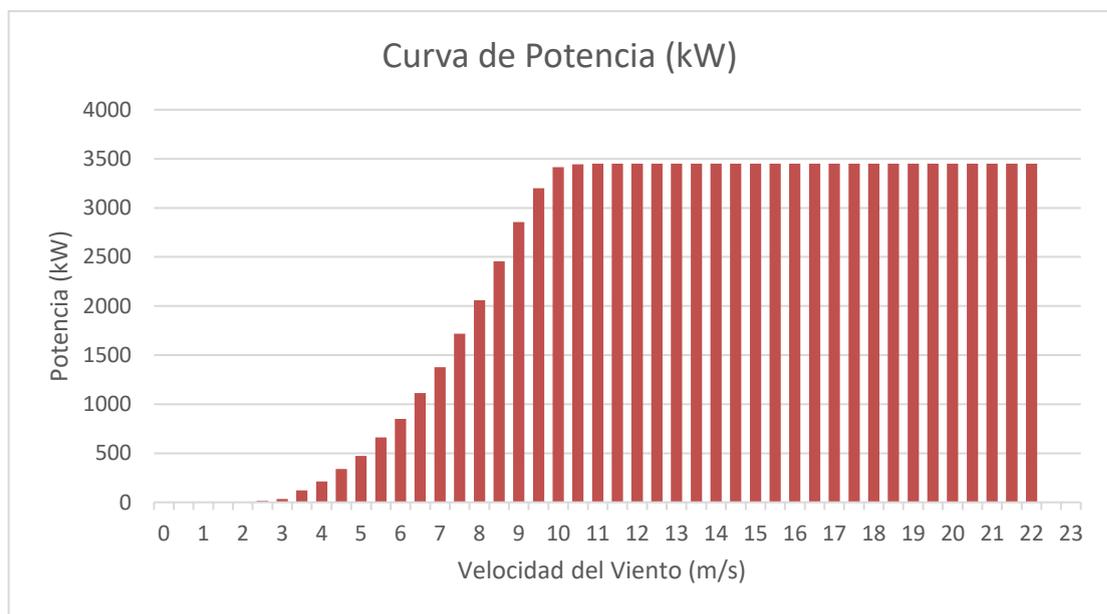


Gráfico 2 Curva de potencia. Fuente: The wind power.

Los molinos eólicos son estructuras de grandes dimensiones, esto los convierte en objetos sumamente difíciles de transportar en una sola pieza debido a las restricciones de peso y tamaño de los camiones y las infraestructuras viales existentes. Dividir los molinos eólicos en segmentos más pequeños y manejables permite superar estas limitaciones y facilita el transporte por carretera hasta el lugar de instalación.

El transporte dividido ofrece ventajas logísticas significativas. Los segmentos más pequeños son más fáciles de manejar y maniobrar, lo que reduce los riesgos

asociados con la carga, descarga y transporte en general. También se simplifica el proceso de carga en los camiones, ya que los segmentos se pueden acomodar de manera más eficiente, aprovechando al máximo el espacio disponible. Esto resulta en un menor número de viajes necesarios para transportar todos los componentes, lo que disminuye los costos y la huella de carbono asociada con el transporte.

Además, los molinos eólicos a menudo se instalan en áreas remotas o de difícil acceso, como colinas o zonas montañosas. En estos casos, el transporte dividido es esencial, ya que permite llevar los componentes a través de caminos estrechos o sinuosos que de otra manera serían intransitables para un molino completo. Los segmentos más pequeños también se pueden transportar en barcazas o incluso en helicópteros en ciertos casos, abriendo aún más posibilidades para llegar a ubicaciones desafiantes.

Una vez que los segmentos llegan a su destino final, se realiza el proceso de ensamblaje. Esta fase implica un cuidadoso trabajo de ingeniería para unir las diferentes secciones del molino eólico y garantizar su estabilidad y funcionamiento adecuado. En general, el ensamblaje no solo se realiza con eficiencia y precisión, sino que también ofrece flexibilidad en términos de ubicación y orientación, permitiendo adaptarse a las condiciones específicas del terreno y del viento en cada sitio.

Por norma general, lo que varía entre un molino u otro es la cantidad de segmentos en los que se divide la torre, el modelo de molino con el que se trabajó se transportaba dividido en 10 partes:

- Torre dividida en 4 secciones
- 1 *Nacelle*
- 1 Transmisión
- 1 Rotor
- 3 Palas

A continuación, se detallarán las medidas de cada componente, así como los posibles métodos de izado.

## 4.2 Secciones de torres.

### 4.2.1 Medidas

Las torres de los molinos eólicos están diseñadas y construidas para soportar las enormes fuerzas que actúan sobre ellas, tanto por el viento como por el peso de las aspas y el equipo de generación de energía. Los segmentos que componen el molino objeto de estudio estaban contruidos con acero, material escogido debido a su resistencia, durabilidad y capacidad para soportar cargas pesadas con un recubrimiento de imprimación y pintura para soportar la intemperie. La forma de los segmentos es troncocónica la cual se caracteriza por tener dos bases circulares congruentes y paralelas teniendo distinto diámetro, así como una superficie curva que conecta las dos bases, de esta manera, a medida que se avanza hacia la parte superior de la torre, los segmentos son más delgados. Esto se debe a que la carga que soportan disminuye a medida que se alejan del suelo. La forma troncocónica de los segmentos también ayuda a reducir el arrastre del viento y mejora la eficiencia de la estructura.

Esta reducción del tamaño de las bases la podemos ver en la siguiente tabla en la cual se han ordenado los segmentos en función de su posición en la torre del molino estando en la parte superior la "Top" la cual va conectada al nacelle a continuación Medio 2 a partir de ahora M2, Medio 1 a partir de ahora M 1 y por último la base la cual va ensamblada a los cimientos y soporta el peso de toda la estructura, los parámetros representados en la tabla son el peso de cada segmento, su longitud y las medidas de la brida superior e inferior.

	Peso (T)	Longitud (m)	Brida Inferior (m)	Brida Superior (m)
Top	48.500	32	3,916	3,268
M2	62.000	29,96	4,67	3,916
M1	81.500	28,56	4,975	4,67
Base	81.000	19,08	5,28	4,975
Total	273.000	109,60		

*Tabla 1 Medidas de las secciones de Torres. Fuente: Autor*

Debido a la reducción de diámetro, el centro de gravedad de las torres está desplazado hacia la brida inferior y por tanto el peso de la torre se reparte de tal forma que en la brida inferior recae el 60 % del peso total de la torre dato necesario para el dimensionado de los equipos.

Para diferenciar cual es la brida superior de una torre de una manera sencilla sin tener que comparar las medidas de los diámetros impresos en los extremos de las torres, se utiliza el código de colores que poseen las orejetas de izado, mediante este sistema en función de cuál sea el color de las orejetas sabremos como está orientada la torre.

En la siguiente imagen podemos encontrar los 5 tipos distintos de orejetas y sus colores, colocándose en las torres de la siguiente manera:

	Brida Superior	Brida inferior
Base	Verde	Roja
M1	Roja	Azul oscuro
M2	Azul Oscuro	Azul Claro
Top	Azul Claro	Amarillo

Tabla 2 Código de colores de las orejetas de izado. Fuente: Autor.



Ilustración 1 Orejetas de izado. Fuente: Autor.

## 4.2.2 Procedimientos de descarga.

A la hora de manipular las torres, existen tres métodos, cada uno de ellos necesitará un dimensionado distinto para los elementos de izado ya que esto depende de entre cuantos puntos se reparte el peso de la torre, la elección entre un método u otro depende de la posición de la estiba a bordo del buque y el entorno de la bodega o cubierta en la que esté ubicada, ya que en la práctica se encontraron situaciones en las que debido a la proximidad de las torres entre ellas o con los mamparos de la bodega imposibilitaba el uso de tan siquiera una escalera de aluminio con la que poder acceder a la parte superior de la brida para conectar los elementos de izado por lo que dependiendo de la viabilidad se optará por usar un método u otro siempre respetando las prioridades de la compañía.

Los métodos que se describen pueden ser usados para manipular la torre completa o solo uno de sus extremos, pudiendo combinarlos dependiendo de las necesidades.

### 4.2.2.1 Grilletes.

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, se debería considerar este método de izado como la primera opción siempre que sea posible. Esto se debe a que es la forma más segura de proceder, ya que, al utilizar las orejetas presentes en la pieza, se minimiza el daño estructural. Además, como se explicará más adelante, el peso de la torre se distribuye entre 2 puntos de izado, repartiendo a la mitad el peso de cada extremo.

#### **Equipo utilizado para trincar y destrincar las torres con este método:**

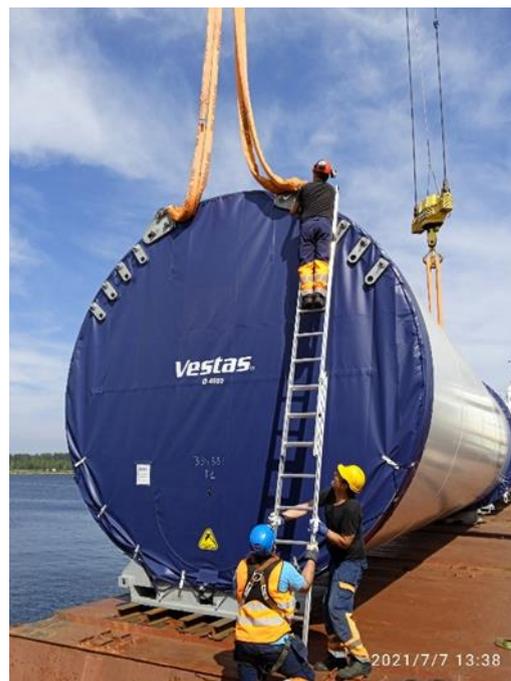
- Escalera de Aluminio a bordo y carretilla elevadora con cesta en el muelle.
- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre las torres al ser izadas a bordo.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa.

### **Aparejo usado en la grúa:**

- 2 eslingas de 25 Toneladas de carga de trabajo y 5 m de longitud.
- 2 grilletes de 25 Toneladas de carga de trabajo.

### **Procedimiento:**

1. Preparar el aparejo en el muelle prestando atención a que las eslingas no están dañadas en ningún punto y los grilletes se puedan abrir y cerrar sin dificultad.
2. A bordo, colocar la escalera de aluminio debajo de una de las orejetas de izado apoyada en la brida de la torre, nunca sobre la lona. Mientras un estibador sujeta la escalera, otro sube y se asegura a la pieza con el arnés.
3. El amantero se comunicará con el gruista para que baje el aparejo poco a poco hasta que el estibador pueda acceder al primer grillete para hacerlo firme a la orejeta de la torre.
4. Repetir el mismo proceso para el otro grillete y orejeta.



*Ilustración 2 Estibadores haciendo firme la torre al aparejo. Fuente: Autor.*

En las siguientes imágenes se puede ver cómo quedaría el sistema una vez hecho firme.



*Ilustración 3 Aparejo de eslingas y grilletes. Fuente: Autor.*



*Ilustración 4 Torre manipulada con eslingas y grilletes. Fuente: Autor.*

Mediante el uso de este sistema no existe apenas riesgo para la manipulación de la torre ya que queda un sistema sólido en el cual imposibilita que la torre se caiga a no ser que se rompa alguno de los elementos (ORTIZ, 2007).

En comparación con los otros dos sistemas, este tiene la ventaja de que es más seguro en cuanto al daño estructural producido a la torre al utilizar las orejetas de izado y minimiza los daños a la carga por roces con los útiles usados en la grúa ya que estos nunca llegan a estar en contacto con el cuerpo de la torre, por el contrario, requiere más tiempo durante la descarga al tener que acceder a la parte superior de la brida para manipular los grilletes tanto en el buque como en la campa, supone también más riesgo para los estibadores al tener que trabajar en altura.

## 4.2.2.2 J-Hook

Este método consiste en utilizar un elemento de acero con forma de gancho, conocido como '*J-Hook*', el cual se introduce dentro de uno de los extremos de la torre para que al izarlo encaje con la brida y elevar la torre.

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante este método de izado debería considerarse la segunda opción para usarse solo cuando el uso de grilletes no sea posible, mediante el uso de '*J-Hook*' la torre solo se manipula por un punto por lo que se tendrán que usar eslingas y grilletes más resistentes.

### **Equipo utilizado para trincar y destrincar las torres con este método:**

- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre las torres al ser izadas a bordo, ya que estas pueden oscilar debido al viento y las torres están muy juntas entre sí.
- Eslinga conectada al gancho.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa.

### **Aparejo usado en la grúa:**

- 1 eslinga de 50 Toneladas de carga de trabajo y 2 m de longitud.
- 1 grillete de 50T Toneladas de carga de trabajo.
- 1 '*J-Hook*'

### **Elección del tamaño de '*J-Hook*'.**

Cada torre tiene un diámetro distinto en sus extremos y por ello la brida usada para conectar las torres entre sí tiene unas dimensiones determinadas, el '*J-Hook*' se engancha a esa brida por lo que se deberá medir el grosor y la altura de esta zona para para elegir el '*J-Hook*' correcto, de otra manera se podrían producir daños estructurales.

En la siguiente imagen se puede ver el '*J-Hook*' VT291223 con las indicaciones de las medidas de altura y grosor, el grosor de cada gancho se puede ajustar mediante

el tornillo situado en la parte superior de la imagen para adaptarse mejor a la brida. En la imagen también se puede apreciar como la superficie que vaya a estar en contacto con la torre se ha protegido para evitar que la brida de la torre se arañe con el cuerpo del 'J-Hook'.



Ilustración 5 J-Hook VT291223. Fuente: Autor.

En la siguiente tabla se muestran el dimensionado de cada tipo de 'J-Hook', todos ellos tienen una carga máxima de trabajo de 50 Toneladas y lo que varía entre ellos es la forma ya que cada uno de ellos se adaptará mejor a cada tipo de brida de la torre.

Tabla 3 Especificaciones de los J-Hook. Fuente: Autor.

Item no.	WWL (Tons)	Grosor (cm) -T-		Altura (cm) -H-	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
VT291222	50	5,5	20	0	21,5
VT291223	50	10	35	0	25,0
VT206159	50	6,5	23,5	0	46,5

Las medidas que necesarias de cada brida serán el grosor indicado en la siguiente ilustración como T y la altura indicado como H, esto nos condicionará la forma del 'J-Hook' utilizado y el grosor al que se tendrá que adaptar el para encajar con la brida sin que existan holguras.

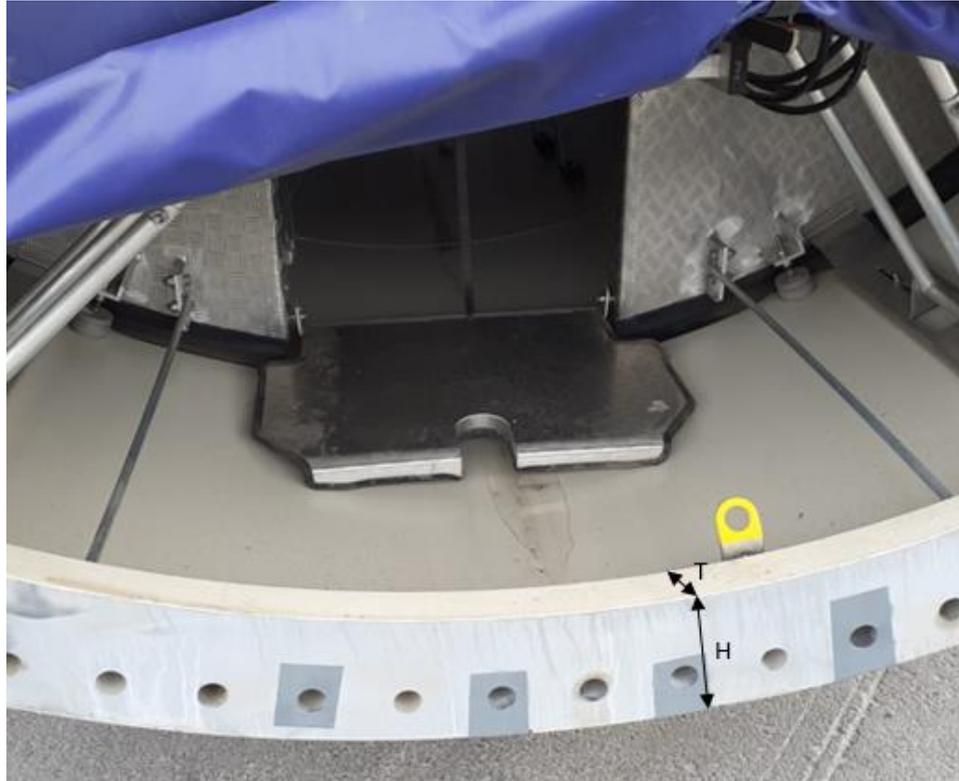


Ilustración 6 Grosor y altura de la brida. Fuente: Autor

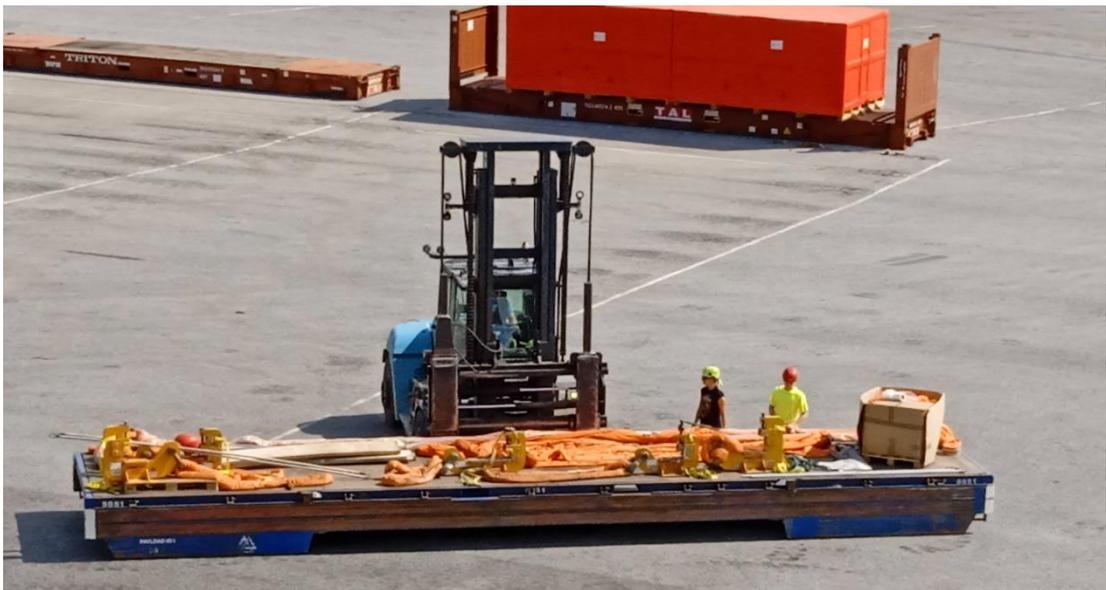
Una vez tomadas las medidas se puede elaborar la siguiente tabla, que contiene la información de cada brida y el tipo de 'J-Hook' que mejor se adapta a ella, aunque hay diversas variaciones posibles, mediante esta selección solo es necesario tener una unidad de cada tipo de gancho para poder manipular todas las torres.

Tabla 4 Especificaciones de las torres. Fuente: Autor.

	Brida Inferior		J-Hook	Brida Superior		J-Hook
	-T- (cm)	-H- (cm)		-T- (cm)	-H- (cm)	
Top	8	19	VT291222	19,5	9	VT291223
M2	10	20	VT291223	7,5	19	VT291222
M1	14	24,5	VT291223	10	20,5	VT291222
Base	13	44	VT206159	14	25	VT291223

### Procedimiento:

1. Preparar el aparejo en el muelle prestando atención a que las eslingas no están dañadas en ningún punto y los 'J-Hook' estén adaptados a la medida de la brida que se vaya a manipular, teniendo que ajustarlo cada vez que se manipule un elemento distinto.



*Ilustración 7 'Mafi' con distintos J-Hook en el muelle. Fuente: Autor*

2. A bordo del buque, con la ayuda de una vara telescópica, se abrirán las cremalleras de las ventanas situadas en la parte superior de la lona que cubre los extremos de las torres para poder introducir el 'J-Hook'.



*Ilustración 8 Ventana abierta en la parte superior de la lona. Fuente: Autor.*

3. A continuación, el amantero se comunicará con el gruista para colocar el 'J-Hook' encima de uno de los extremos de la torre y bajarlo hasta que un estibador pueda coger la eslinga amarilla sujeta a la parte baja del gancho para así, poder manipularlo y evitar que oscile.
4. Cuando se controle el 'J-Hook', el estibador lo situara justo debajo de la brida para que, cuando el gruista eleve el aparejo, este se acople a la brida y se pueda descargar la torre.



*Ilustración 9 Torre manipulada con 'J-Hook'. Fuente: Autor.*

Este método tiene la ventaja de que se requiere poco personal en comparación con los otros dos ya que con un amantero y un estibador se manipula un extremo de la torre y están libres de riesgos ya que el 'J-Hook' se maneja desde muelle, plan de bodega o cubierta. Otra ventaja de este método es que es bastante rápido al tener que dedicar tiempo solo a colocar el gancho en posición. La desventaja de este método es que se pueden producir daños a la brida de la torre debido a rozaduras y se puede llegar a dañar la estructura de la brida si no se usa la medida adecuada.

### 4.2.2.3 Eslinga

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante este método de izado debería considerarse la última opción a usar siempre que sea posible ya que es la opción que más daños puede causar a la torre. Este método consiste en pasar una eslinga por la parte baja de la torre y conectarla al gancho de la grúa formando una U, mediante el uso de este método se pueden generar desperfectos en la superficie de la torre por rozamiento de esta con la eslinga, por ello la eslinga deberá ir recubierta de plástico y se comprobará antes de su uso que no haya restos de suciedad para minimizar los riesgos, la zona del grillete irá cubierta por una lona para evitar desperfectos si roza con la torre. Otro motivo por el cual este método es el menos recomendado es porque si no se iza la torre completamente horizontal se puede dar el caso que la eslinga de uno de los extremos se deslice y se pueda caer la torre.

#### **Equipo utilizado para trincar y destrincar las torres con este método:**

- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre las torres al ser izadas a bordo, ya que estas pueden oscilar debido al viento y las torres están muy juntas entre sí.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa

#### **Aparejo usado en la grúa:**

- 1 eslinga de 50 Toneladas de carga de trabajo y 5 m de longitud.
- 1 eslinga de 50 Toneladas de carga de trabajo y 20 m de longitud.
- 1 grillete de 50 Toneladas de carga de trabajo.

#### **Procedimiento:**

1. Preparar el aparejo en el muelle prestando atención a que las eslingas no están dañadas en ningún punto, las fundas de plástico estén colocadas y la funda protectora del grillete se encuentre en buen estado.

2. A bordo, comunicarse con el gruista para bajar el aparejo dejando la eslinga más larga por un lateral de la torre para que los estibadores la puedan pasar hasta el otro lado, en este paso se procurará que la eslinga toque lo menos posible la cubierta para evitar que se adhiera suciedad que pueda dañar la torre.
3. Cuando la eslinga grande pase por debajo de la torre tal como se ve en la siguiente imagen, el gruista moverá el gancho de la grúa hacia el otro lado, de esta manera la eslinga corta con el grillete queda desplazadas de la vertical de la torre y al bajar el aparejo se evita que el grillete pueda rozar la superficie del tramo, para más seguridad un estibador sujetará el grillete mediante una eslinga auxiliar sujeta a este.



*Ilustración 10 Estibadores manejando la eslinga. Fuente: Autor.*

4. Acto seguido se bajará el aparejo hasta poder hacer firmes ambas eslingas mediante el grillete.
5. Una vez completado el paso anterior, mediante la ayuda de la eslinga auxiliar se izará el conjunto evitando que el grillete dañe a la torre y se situará el gancho de la grúa en la vertical de la torre para que no se produzcan oscilaciones ni arañazos con la eslinga.



*Ilustración 11 Torre manipulada con eslinga. Fuente: Autor.*

Este método presenta la ventaja de que no se requiere acceso a la brida o las orejetas de izado para manejar la torre. Por lo tanto, en situaciones en las que no se pueda trabajar adecuadamente, ya sea porque el extremo de la torre esté cerca del borde de una tapa de bodega o en proximidad a un mamparo con espacio insuficiente para manipular los elementos de izado, esta será la única opción viable para llevar a cabo la descarga.

Los puntos negativos de este método son los siguientes:

Se requiere un mayor número de estibadores en comparación con los grilletes y el *J-Hook* para poder manipular las eslingas de forma segura.

Al estar las eslingas en contacto directo con el cuerpo de la torre, el riesgo de producir rozaduras es elevado incluso cubriendo la eslinga con un plástico de protección.

Al manipular la torre con este método, tal como se ha mencionado en la introducción se puede dar el caso de que una de las eslingas se deslice si está un lado de la torre más elevado que el otro produciendo un desequilibrio que derive en la caída de la torre.

### 4.2.3 Elección del procedimiento de descarga.

La elección del método de izado óptimo depende de la ubicación de la torre y el entorno que la rodee, existen limitaciones a la hora de tomar esta decisión como son: la seguridad de los estibadores si no pueden posicionar una escalera u operar de forma segura o que el espacio disponible para descargar la torre este restringido por los entrepuentes, la posición de las tapas de escotilla o la forma de la bodega.

A continuación, se expondrán varias situaciones en las que solo había una opción viable de descarga.

#### **Uso de Grilletes.**

El primer escenario es el de unos tramos estibados en el entrepuente de la bodega, en este caso la proximidad de las torres entre sí era de apenas 3 / 4 cm por lo que el uso de la eslinga quedaba descartado.



*Ilustración 12 Torres estibadas en el entrepuente. Fuente: Autor.*

Las tapas de la bodega eran de tipo plegable, lo cual consiste en dos tapas adyacentes unidas mediante bisagra para qué, mediante el uso de un sistema hidráulico las tapas se pueden plegar (Sharma *et al.*, 2011). Debido a la forma del gancho de la grúa, este no podía situarse vertical al extremo de la torre ya que chocaba con la tapa de escotilla por lo que la única opción para descargar este tramo era utilizar grilletes.

En la siguiente imagen, se puede observar el momento en el que la torre estaba asegurada con grilletes. Debido a la posición del gancho, las eslingas no se encontraban en posición vertical, sino desplazadas hacia la izquierda. Si se hubiera izado la torre en esa situación, esta se hubiera desplazado hacia el lado contrario por efecto péndulo lo que sería peligroso. Para abordar esta situación, se tomó la medida de sujetar la base de la torre con cadenas y tensores a dos puntos del entrepuente. De esta manera, al izar la torre, las cadenas ayudarían a mantener su posición, permitiendo luego aflojar gradualmente los tensores hasta que las eslingas se encontraran en posición vertical, lo que permitiría izar la torre de manera segura.



*Ilustración 13 Torre manipulada con grilletes. Fuente: Autor.*

### Uso de 'J-Hook' y eslinga.

El segundo escenario corresponde a un buque en el que, las torres en cubierta estaban estibadas en dos alturas, esto se realiza mediante el uso de un armazón de acero instalado en la torre inferior que soporta el peso de la torre superior.

Para acceder a la torre superior se hace uso de unas escaleras de aluminio que van acopladas a la torre, tras la inspección visual realizada antes de comenzar la descarga se detectó que las escaleras se encontraban en mal estado por lo que, al no poder acceder a las orejetas, el único medio posible para efectuar la descarga era el 'J-Hook'.

Así mismo para la torre inferior, el uso de grilletes directamente al armazón para manipular la torre inferior estaba desaconsejado puesto que la estructura estaba diseñada para soportar la carga de una torre a doble altura, no para izar el tramo en el que va instalado.

El uso del 'J-Hook' quedaba descartado puesto que el armazón de acero cubre la parte superior de la torre, por lo que la única opción de descarga de los tramos inferiores es mediante el uso de la eslinga, tercer método planteado.



Ilustración 14 Torres estibadas en dos alturas en cubierta. Fuente: Autor.

### Uso de Eslinga.

La siguiente imagen muestra un escenario en el que las torres se cargaron en el plan de bodega y en los entrepuentes, una vez descargados los tramos localizados en los entrepuentes, se procedió a continuar la descarga con los situados en el plan, en este caso el buque no podía mover debido a un problema mecánico con uno de los seguros uno de los entrepuentes localizado a menos de un metro de los extremos de las torres, en la siguiente imagen lo podemos ver localizado en la parte superior izquierda.



*Ilustración 15 Torres estibadas en bodega. Fuente: Autor.*

El problema encontrado en esta situación fue que debido a la proximidad de la parte superior de la torre con el entrepuente la única opción viable de descarga fue usar la tercera opción descrita en este trabajo. El uso del '*J-Hook*' estaba descartado por que no había espacio suficiente para manipularlo desde el plan de bodega ya que podría chocar con el entrepuente o con la torre y en el caso de los grilletes la única opción hubiera sido trincarlos desde el entrepuente, lo cual no era seguro puesto que puede haber riesgo de caer a la bodega.

## 4.2.4 Carga en camiones

En todos los segmentos de torres la carga en el camión seguirá el mismo procedimiento:

Antes de empezar la operativa los camiones deberán ajustarse telescópicamente a la medida de la torre que vayan a transportar y prepararán la zona en la que se asienten las bases de ambos extremos de las torres colocando alfombras de goma para aumentar el rozamiento en el camión. Los operarios de los camiones comprobarán que todo el equipo de trinca se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento.

A la hora de cargar las torres en el camión, estas se deberán posicionar con su extremo más pesado junto a la cabeza tractora, la ubicación de la brida superior la conoceremos observando cual es el color de las orejetas de izado.



*Ilustración 16 Torre siendo cargada en el camión. Fuente: Autor.*

Una vez se encuentre la torre posada en el camión el conductor la trincaré con cadenas, durante la descarga el movimiento de vehículos dentro de la zona portuaria se realiza a menos de 20 km/h por lo que se utilizan cuatro cadenas para asegurar la torre, dos en la parte delantera y dos en la trasera.

Durante la operativa se dispondrán de al menos dos camiones para que mientras uno se carga en primera línea, el otro descargue en segunda línea y así hacer una descarga fluida.

## 4.3 Nacelle.

El '*nacelle*' es la estructura localizada en la parte superior del molino, a esta estructura van acoplados el rotor y la torre, está construido con una combinación de materiales resistentes y duraderos como acero estructural de alta resistencia y componentes de aluminio y fibra de vidrio. El uso de estos materiales permite lograr una estructura robusta, capaz de soportar las condiciones ambientales adversas a las que se enfrenta el molino eólico. Están diseñados para albergar los componentes esenciales del sistema de generación de energía eólica, como el generador, el multiplicador y el sistema de control. Además de proporcionar protección y soporte a los componentes internos, el '*nacelle*' también tienen la función de orientar las palas del rotor hacia la dirección óptima del viento.

Durante su transporte, este componente tiene que ir conectado a la red eléctrica para poner en funcionamiento un deshumidificador que lleva equipado en su interior, de esta manera se evitan desperfectos en los sistemas eléctricos por la presencia de humedad y se desconectará antes de empezar con la operativa.

### 4.3.1 Medidas

Las medidas del '*nacelle*' son 12,90 m de largo, 4 m de ancho y 4,19 m de alto, teniendo forma de paralelepípedo recto se puede aprovechar muy bien el espacio de carga.

Este componente se puede transportar de dos maneras: con la transmisión dentro o por separado, esto depende del peso que puedan manipular las grúas, el plan de bodega y el transporte en tierra pues los dos elementos juntos alcanzan las 125 T.

Durante el periodo de estudio se trabajó con ambos casos, por lo que se hará un procedimiento para el nacelle y otro para la transmisión. En los casos en los que la transmisión se aloja en el interior del nacelle esta se extrae para el transporte por carretera ya que los camiones capaces de transportar ese peso son difíciles de encontrar y los permisos para mover esa mercancía son limitados ya que se puede dañar la infraestructura del recorrido.



Ilustración 17 Bodega cargada con Nacelle. Fuente: Autor.

### 4.3.2 Procedimiento de descarga.

El método utilizado para manipular el '*nacelle*' es mediante eslingas, estas van conectadas al gancho de la grúa mediante un '*spreader*' conocido así a la viga utilizada para repartir la carga y van echas firmes a unos puntos de izado localizados en el '*nacelle*'.

**El material necesario para realizar esta operación es el siguiente:**

- Escalera de Aluminio con protecciones a bordo y carretilla elevadora con cesta en el muelle.
- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Herramienta para desatornillar los tornillos de sujeción de las tapas de acceso a los puntos de izado, llave de vaso métrica 12.
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre los '*nacelles*' al ser izados a bordo.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa.

**Aparejo usado en la grúa:**

- 2 eslingas de 100 Toneladas y 2,5 m de longitud.
- Spreader
- 2 eslingas de 50 Toneladas y 6,12 m de longitud.
- 2 eslingas de 50 Toneladas y 5,92 m de longitud.

**Procedimiento:**

Para manipular el 'nacelle' primero hay que desmontar cuatro tapas localizadas en la parte superior de sus laterales para poder acceder a los puntos de izado donde hacer firmes las eslingas, para ello se necesitará un equipo de 3 estibadores de los cuales dos de ellos subirán a la parte superior del 'nacelle' mediante el uso de una escalera de aluminio con protecciones en la zona de contacto con la pieza mientras el otro sujeta la escalera.



*Ilustración 18 Estibadores subiendo al nacelle. Fuente: Autor.*

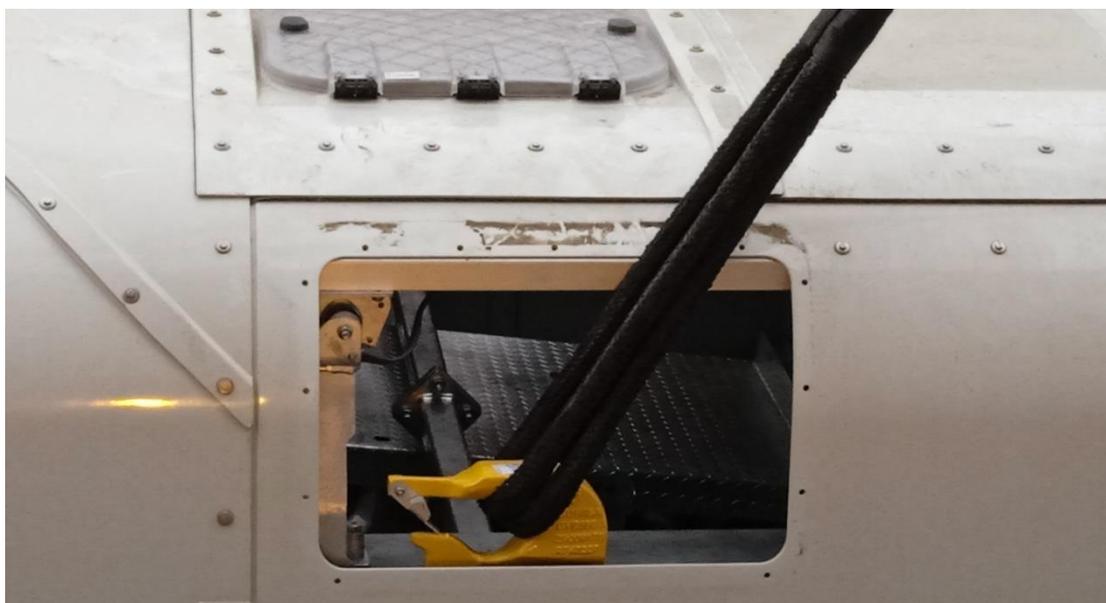
Una vez en la parte superior, los estibadores harán firmes los arneses a los puntos de sujeción para poder trabajar con seguridad y así poder ir desmontando las tapas y meterlas en una bolsa junto a los tornillos.

Tal como se puede ver en la siguiente imagen, esta bolsa se hará firme a la parte superior del 'nacelle' para que cuando se descargue en el camión, los estibadores puedan colocar de nuevo las tapas y evitar que entre agua o suciedad al interior del componente.



*Ilustración 19 Nacelle con la bolsa en la parte superior. Fuente: Autor.*

Una vez estén accesibles los puntos de anclaje se harán firmes las eslingas al elemento encontrado al extraer las tapas, este útil dispone de una pestaña para que la eslinga no pueda salirse.



*Ilustración 20 Eslinga hecha firme en el punto de anclaje. Fuente: Autor.*

El 'nacelle' tiene el centro de gravedad desplazado hacia su parte delantera donde se conecta con el rotor por lo que para que no se incline al izarlo, se tienen que usar eslingas de distinta medida, en la siguiente imagen se puede apreciar que las eslingas utilizadas en el lado izquierdo son ligeramente más cortas que las de la parte derecha, 20 cm en este caso.



*Ilustración 21 Nacelle en bodega. Fuente: Autor.*

A la hora de izar el 'nacelle' como tiene un elevado peso el barco suele asentar su escora, sobre todo cuando queda poca carga, para evitar que, en el momento de elevarlo, este pueda rozar contra los mamparos se utiliza el siguiente método.

Utilizando cadenas, se asegura la parte inferior del nacelle a las anillas soldadas en la bodega o entrepuente, en la zona opuesta a donde se encuentran los mamparos. Esto se hace para que, al elevarlo, se mueva en conjunto con el buque hasta que se estabilice. Una vez que el barco esté estable, se retiran las cadenas y se procede a descargar el 'nacelle'.

### 4.3.3 Carga en el camión.

La carga en el camión de este componente se tiene que realizar contemplando que tiene que quedar en una posición determinada, debido a su elevado peso, cargarlo descentrado supondría un riesgo ya que se produciría un desequilibrio soportando un lado de los ejes del camión más peso que los otros, lo que podría producir un daño estructural suponiendo un riesgo para la carga y los trabajadores.

Al realizar la carga los amanteros usarán cintas métricas para que el 'nacelle' quede perfectamente centrado.

Para aumentar la fricción entre la base del 'nacelle' con el camión, se colocarán alfombras de goma en los puntos de contacto.

Una vez se ha posicionado el 'nacelle', se procederá a asegurarlo al camión utilizando el método ilustrado en la siguiente fotografía. En la zona inferior izquierda se muestra un dispositivo en forma de T al que se encuentra soldado un segmento de cadena. A dicho segmento se enganchará un tensor para asegurar el 'nacelle' sin causar daño estructural, tal como se muestra detalladamente en la zona inferior derecha de la imagen.



Ilustración 22 Nacelle cargado en el camión, con detalles de sus elementos de trinca. Fuente: Autor.

## 4.4 Transmisión.

La transmisión del molino va alojada en el interior del '*nacelle*', su función es la de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica, se compone de un tren de potencia que conecta el rotor con una multiplicadora la cual va acoplada a un generador, mediante este sistema se eleva la velocidad de giro desde 7/12 rpm que alcanzan las palas hasta unas 1500 rpm que llegan al generador, este componente se transporta de dos maneras, la primera alojado dentro del '*nacelle*' y la segunda dentro de un armazón de acero, el cual incorpora cuatro orejetas de izado. En el puerto de Umeå, la transmisión iba alojada en el interior del '*nacelle*' mientras que en el de Skellefteå se transportaban por separado.

### 4.4.1 Medidas

Las medidas de la transmisión son 9,8 m de largo, 3,2 m de ancho y 3,9 m de alto, su peso es de 60 Toneladas.

### 4.4.2 Procedimiento de descarga.

El método utilizado para manipular la transmisión es mediante eslingas, estas van conectadas al gancho de la grúa mediante un '*spreader*' y van echas firmes a cuatro puntos de izado localizados en el armazón de acero mediante grilletes.

**El material necesario para realizar esta operación es el siguiente:**

- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre las transmisiones al ser izados a bordo, ya que estos pueden oscilar debido al viento y las transmisiones están muy juntos entre sí.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa.

**Aparejo usado en la grúa:**

- 4 eslingas de 20 T y 15 m de longitud.
- 4 grilletes de 25 T.
- Mismo spreader que el nacelle.

**Procedimiento:**

Para manipular la transmisión, primero se tiene que preparar el aparejo en el muelle prestando atención a que las eslingas se encuentran en buen estado y que los grilletes se pueden abrir y cerrar.

Cuando el aparejo esté listo, el amantero se comunicará con el gruista para situar el aparejo encima de la transmisión que se quiera descargar, a continuación, se irá bajando el conjunto hasta que los estibadores puedan acceder a los grilletes y hacerlos firme a los cuatro puntos de izado localizados en el armazón.

Las eslingas se situarán de tal manera que queden de forma simétrica, esto es como se puede observar en la siguiente imagen, las eslingas situadas en la parte interior del spreader llamando hacia la parte con menos altura de la transmisión, en este caso la derecha y las localizadas en la parte exterior llamando hacia la parte izquierda.



*Ilustración 23 Transmisión izada con el aparejo. Fuente: Autor.*

### 4.4.3 Carga en camión.

La carga en el camión de este componente se hará prestando atención a que quede centrado por el mismo motivo contemplado en el caso del 'nacelle', en este caso, aunque sea más ligero se evitan daños a largo plazo en los camiones si se cargan los elementos centrados.

Para aumentar la fricción entre la base del 'nacelle' con el camión, se colocarán alfombras de goma en los puntos de contacto.

Una vez esté colocado en posición, se trincará el elemento al camión mediante el uso de cadenas y tensores, tal como aparece en la siguiente imagen.

Las cadenas se sitúan formando una cruz para evitar tanto los movimientos longitudinales de la carga como los transversales.



*Ilustración 24 Transmisión cargada y asegurada en el camión. Fuente: Autor.*

## 4.5 Rotor.

El rotor es el elemento que conecta las palas con la transmisión y el nacelle, tiene una forma cónica para ofrecer menos resistencia al viento, está construido con acero y otras aleaciones para que disponga de resistencia mecánica ya que es un elemento que está en continua torsión.

Durante su transporte, este componente tiene que ir conectado a una red eléctrica para poner en funcionamiento un deshumidificador que lleva equipado en su interior, de esta manera se evitan desperfectos en los sistemas eléctricos por la presencia de humedad, además mediante la energía eléctrica cada cierto tiempo los engranajes de su interior rotan para que no se queden atascados.

### 4.5.1 Medidas

Las medidas del rotor son las siguientes, 5,4 m de largo, 3,7 m de ancho y 3,9 m de alto, su peso es de 34 Toneladas.

### 4.5.2 Procedimiento de descarga.

El rotor se manipula mediante un sistema de elementos que forman una unidad de izado compuesta por eslingas, grilletes, un spreader y dos elementos de conexión con el rotor. Estos elementos se hacen firmes a la brida de conexión del rotor con la transmisión y a la parte delantera del rotor conocida como "nariz".

#### **El material necesario para realizar esta operación es el siguiente:**

- Escalera de aluminio a bordo y carretilla elevadora en el muelle.
- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre los rotores al ser izados a bordo, ya que estos pueden oscilar debido al viento y los rotores están muy juntos entre sí.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa.

### Aparejo usado en la grúa:

- Eslinga de 5 m y 30 T
- Eslinga de 4,18 m y 40 T
- Eslinga de 3,5 m y 30 T
- Eslinga de 1,87 m y 35 T
- 6 Grilletes de 35 T
- 1 Grillete de 25 T
- Polipasto de cadena con trinquete manual.
- Conexión con la parte delantera del rotor.
- J-Hook para la parte trasera del rotor.

En la siguiente imagen se puede observar cómo iban distribuidos los elementos, el grillete de 25 T es el que conecta la eslinga de la parte derecha con el J-Hook.

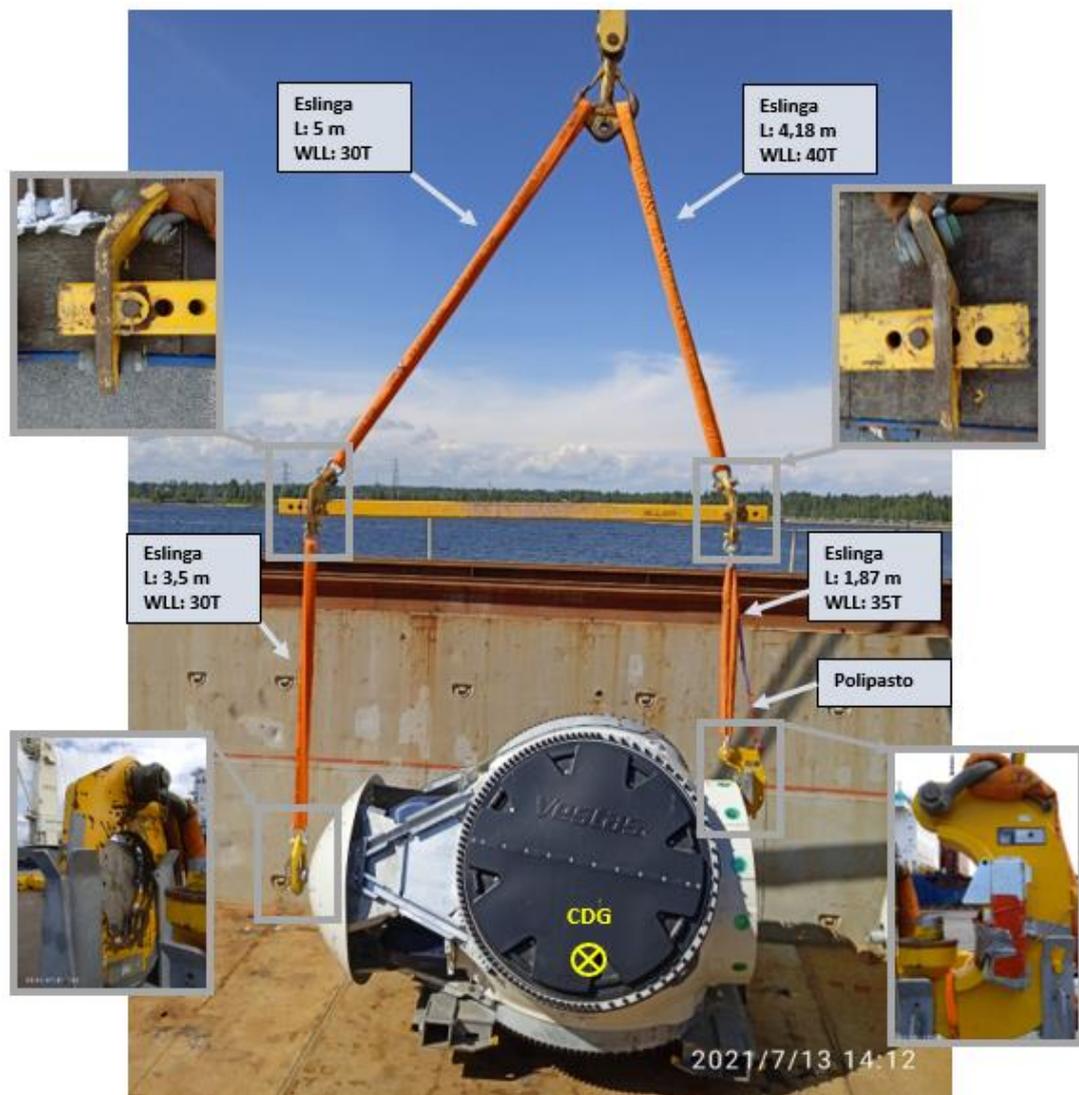


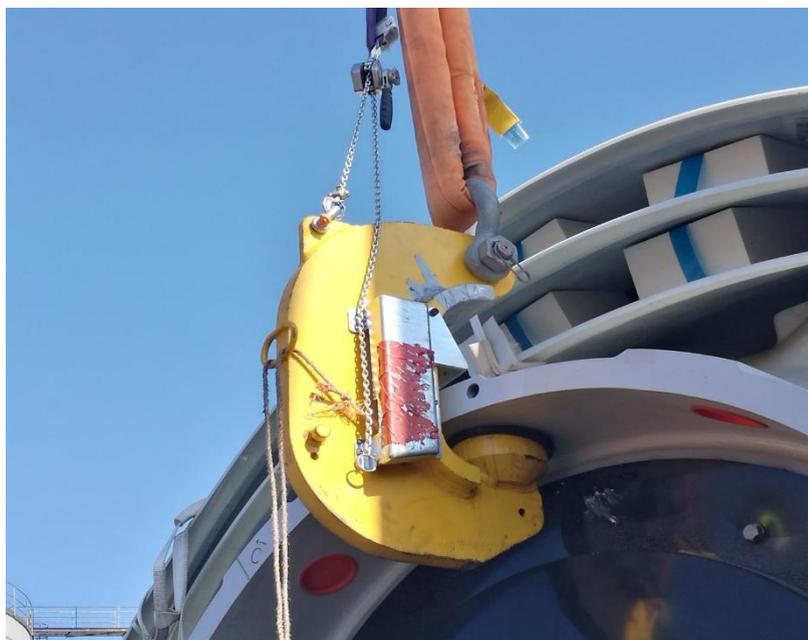
Ilustración 25 Rotor con su aparejo de izado. Fuente: Autor.

### **Procedimiento:**

El primer paso antes de comenzar la descara es preparar el aparejo para ello se acercará a primera línea del muelle un 'mafi' con los elementos y se hará firme en primer lugar las dos eslingas superiores al gancho de la grúa y se elevará el sprader, a continuación, se irán conectando los grilletes y las eslingas hasta por último acoplar los elementos que se harán firmes a la estructura.

El segundo paso será que el amantero se comunique con el gruista para situar el aparejo encima del rotor que se quiera descargar, y bajarlos hasta situarlo a la altura de los puntos de izado.

El tercer paso es que los estibadores se sitúen en posición, el que manipule la parte de la nariz sostendrá el elemento de conexión mientras tanto ende la parte del rotor colocara una escalera de aluminio para poder llegar al gancho y con la ayuda del polipasto tensará la cadena para que el gancho quede trimado horizontal, si no, debido a sus dimensiones queda ligeramente inclinado lo que puede dañar el rotor al conectarlo.



*Ilustración 26 Gancho hecho firme a la brida del rotor. Fuente: Autor.*

Una vez trimado el gancho el amantero se comunicará con el gruista para que cuando el estibador situado en la brida lo tenga colocado en posición, se eleve el conjunto y entre el gancho por uno de los agujeros presentes en la brida del rotor, mientras en el lado de la nariz, el otro estibador hará firme el segundo elemento de

conexión con el rotor, el cual consiste en una placa con una hendidura en la que se inserta la nariz y al elevar el conjunto se queda fijado.

El quinto paso será una vez se haya hecho firme el conjunto, un estibador destensará la cadena del polipasto para que el peso del rotor lo soporte la eslinga.



*Ilustración 27 Estibador manejando el polipasto. Fuente: Autor.*

Finalmente, cuando se descargue el rotor en el camión se procederá a realizar el procedimiento de descarga, para ello el estibador que maneje el polipasto lo tensara para que el gancho quede en posición horizontal y no dañe al rotor por estar inclinado, mientras tanto el otro estibador desacoplará el otro elemento.



*Ilustración 28 Estibador manipulando el elemento de conexión al otro punto de izado. Fuente: Autor.*

### 4.5.3 Carga en el camión.

En primer lugar, hay que colocar el camión de tal forma que la brida del rotor quede orientada a la parte trasera del remolque, de esta manera, un estibador podrá ubicar una cesta elevadora con facilidad para retirar el gancho.

El camión se preparará situando dos alfombras de goma en los puntos de contacto entre la base del rotor y el remolque para aumentar el rozamiento.

A continuación, se colocará el rotor en posición utilizando cintas métricas para que quede perfectamente centrado.

Una vez colocado el rotor en el camión, dos estibadores se colocarán junto a los elementos de izado para que cuando el amantero de la orden de bajar el aparejo y estos pierdan tensión, el encargado de la manipulación del gancho tense el polipasto para que quede este elemento en posición horizontal y pueda retirarse.

Tras realizar este paso el gruista bajará el conjunto para que así el gancho quede libre y se pueda retirar también el otro elemento de conexión.

Finalmente se trincaré el rotor usando el mismo sistema que con la transmisión.



Ilustración 29 Rotor cargado en el camión. Fuente: Autor

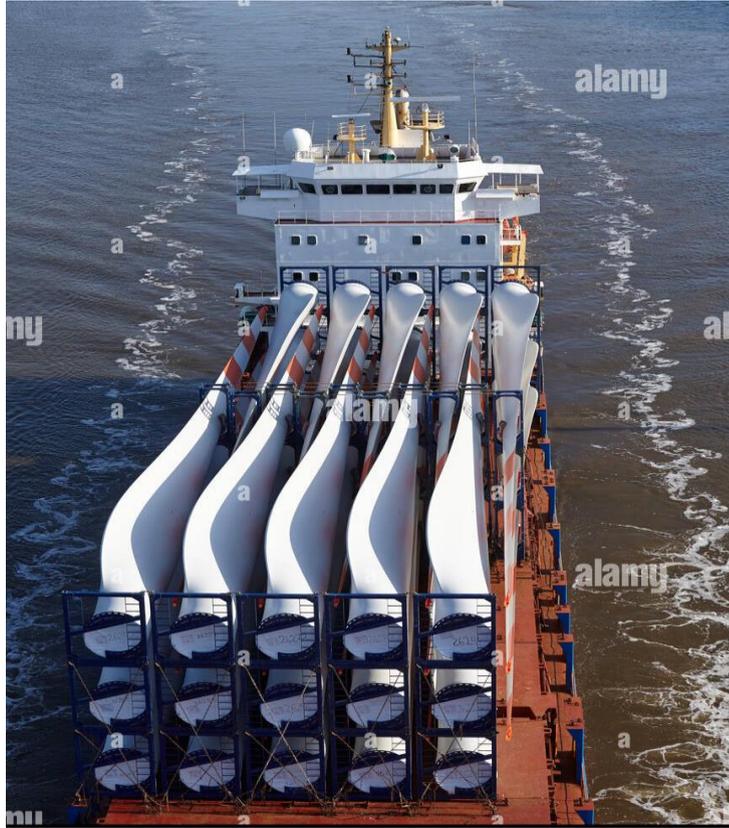
## 4.6 Palas.

Las palas son el componente capaz de capturar la energía cinética del viento, convertirla en energía mecánica para impulsar el rotor y generar electricidad. Estas palas están construidas en base a una estructura de acero sobre la cual se solapan capas de materiales compuestos que combinan fibra de vidrio y resinas sintéticas, como el poliéster o el epoxi para de esta forma conseguir una pieza resistente, ligera y duradera al mismo tiempo. Su forma está diseñada para optimizar la captura de energía del viento, esta forma

Para poder transportar las palas con seguridad se instalan dos armazones de acero posicionados uno de ellos en la base de la pala y el otro donde se esté localizado el ultimo refuerzo de acero de la pala, estos elementos sirven para tres propósitos, el primero es poder apilar las palas para aumentar la capacidad de carga, el segundo es para poder realizar el trincaje de las palas a cubierta para su transporte y el tercero es para utilizarlo como estructura de izado ya que son más resistentes que las palas (House, 2005).

Las palas se ubican divididas en montones, uno de ellos con la base apuntando a la popa y el extremo a la proa y el otro montón al revés, de esta manera los extremos que son los elementos más débiles de las palas se encuentran en la parte media del montón, si la dimensión de la cubierta permitiera estibar un tercer montón este iría con las bases orientadas hacia popa y las puntas hacia proa para ofrecer menos resistencia al viento mediante este método se consigue que la estiba de los elementos individuales forme un conjunto más robusto que soporte mejor la fatiga del viaje.

En la siguiente imagen se puede observar la vista aérea de un buque que transporta una carga de palas donde se aprecia como las palas están divididas en dos montones con las puntas hacia adentro.



*Ilustración 30 Posición de las palas en cubierta. Fuente: Marinetrassic.*

Para poder realizar una travesía más segura al cargar las palas se van uniendo los armazones entre sí para así establecer una unidad sólida, esto se realiza mediante una serie de elementos localizados en las bases de las palas, en la siguiente imagen se puede ver las bases de las palas estibadas a tres alturas.



*Ilustración 31 Bases de las palas durante la descarga. Fuente: Autor.*

En la siguiente imagen se pueden ver en verde y amarillo los elementos utilizados para juntar los armazones, la estructura cuadrada de las bases tiene unos orificios localizados en su parte superior e inferior en su extremo derecho e izquierdo, en estos agujeros encaja una pieza metálica, señalada en el círculo verde en la cual se introduce una espiga en forma de T, para al final sobre esta espiga introducir un tornillo y hacerlo firme.



*Ilustración 32 Detalle de las bases de la pala. Fuente: Autor.*

A continuación, se muestra en detalle los elementos de conexión de los armazones, en la imagen de la izquierda las espigas utilizadas para unir los armazones verticalmente, a la derecha la pieza que se introduce para fijar la espiga al armazón y por la cual se introduce un tornillo para fijar las estructuras horizontalmente.



*Ilustración 33 Elementos utilizados para apilar las torres. Fuente: Autor.*

En la siguiente imagen, se puede ver las palas estibadas en cubierta, en la parte derecha de la foto están localizadas las estructuras utilizadas para apilar los extremos de las palas.



*Ilustración 34 Palas cargadas en cubierta. Fuente: Autor.*

En el caso del segundo armazón, se utilizan 'twistlocks' en la parte superior e inferior para acoplar las estructuras. Este elemento consiste en un mecanismo que se activa mediante un giro o torsión, asegurando así que dos objetos estén firmemente unidos o cerrados de manera segura.



*Ilustración 35 Twistlocks utilizados. Fuente: Autor.*

En la parte superior de los armazones se añade una estructura cuadrada para elevar un poco la altura del conjunto salvando la pala localizada en sentido contrario, de esta manera se fijan dos barras metálicas a esta estructura cuadrada para unir transversalmente a todos los conjuntos de armazones, mediante este método se consigue que las palas localizadas a barlovento sufran menos al inmovilizar los armazones y evitar que las vibraciones producidas en el extremo de la pala por acción del viento se transmitan a toda la estructura.



*Ilustración 36 Elementos auxiliares para la estiba. Fuente: Autor.*

## 4.6.1 Medidas.

Cada pala tiene unas medidas de 66,65 m de largo por 2,59m de ancho y 4,113m de alto con un peso de 15,6 Toneladas.

## 4.6.2 Procedimiento de descarga.

El primer paso en el procedimiento de descarga es contactar con el agente para disponer del plan de carga para poder estudiarlo y elaborar el procedimiento de descarga, en el caso de las palas, éstas se construyen en la fábrica de manera que no haya una diferencia de más de 10 kg entre ellas para que no estén descompensadas al instalarse en el rotor, por este motivo tienen que descargarse en sets para poder almacenarlas juntas y poder enviarse al campo eólico de esta manera.

En la siguiente imagen podemos observar las etiquetas utilizadas para identificar a las palas, el número localizado en la parte superior es el código de la pala y los dos números situados debajo de este son los códigos de las otras dos palas, de esta manera en cada etiqueta podemos identificar el set completo.



Ilustración 37 Códigos de las palas. Fuente: Autor.

El problema encontrado durante todas las descargas de este elemento fue que las palas no se habían cargado en sets por lo que la secuencia de descarga se elaboró de forma que la operativa fuera lo más fluida posible, en la siguiente imagen se encuentra el plan de carga elaborado.

Para entenderlo mejor, hay que ponerse desde el punto de vista del estibador que este en contacto con el gruísta de tal manera que cada celda representa la base de una pala, el montón que aparece en la parte superior de la imagen corresponde con el montón de popa y el montón inferior el de proa, así como la fila superior de cada montón corresponde con la fila superior del montón de palas, el número que aparece en la parte superior es el código de la pala, el número en la parte inferior es el orden de descarga y los colores representan los sets, mediante este método se

consiguió que de una manera visual se podían localizar que palas tenían que descargarse juntas y tanto gruistas como estibadores sabían en que secuencia realizar la descarga, también mediante este sistema se puede conocer con antelación en qué momento de la secuencia se tendrá que cambiar de un montón a otro para poder organizar con antelación el movimiento de grúas ,estibadores y camiones ya que estos se deben colocar siempre con la cabeza tractora en el lado en el que esté la base de la pala.

	V0050544 9	G0050666 8	G0020949 7	G0050555 ↓3	V0050547 2	G0050634 1
	G0020956 21	G0020956 20	V0020990 ↓ 15	G0050572 14	G0020951 13	V0020961 12
G0020985 ↓34	G0021005 33	G0021005 32	V0021002 ↓28	G0050576 27	V0020977 26	G0020995 ↓22
	G0020954 4	G0020993 5	V0050546 ↑6	V0050545 10	V0050609 ↑11	
	G0020971 16	G0020972 17	G0020953 18	G0020955 ↑19	V0020965 23	V0020964 24
	G0020999 ↑25	G0020974 29	V0020969 30	G0020976 ↑ 31	V0020981 35	G0020984 36

Ilustración 38 Secuencia de descarga. Fuente: Autor.

Una vez conocida las características de la carga y el procedimiento a seguir, el primer paso cuando llega el buque es realizar una inspección visual de la carga para verificar si los códigos de las palas presentes en el plano de carga corresponden con la realidad por si fuera necesario modificar la secuencia de descarga.

Una vez verificada la carga y destrincada se posicionarán las grúas para empezar la descarga y equipar los aparejos en las grúas.

**El material necesario para realizar esta operación es el siguiente:**

- EPIS (Casco, arnés con dos puntos de sujeción, botas de seguridad, guantes y ropa de alta visibilidad)
- Espuma o elementos que eviten la colisión o roce entre los rotores al ser izados a bordo, ya que estos pueden oscilar debido al viento y los rotores están muy juntos entre sí.
- Equipo de comunicación con el operador de grúa.

**Aparejo usado en la grúa:**

Para manipular esta carga serán necesarias dos grúas trabajando en tándem, una de las grúas izará la parte de la base y la otra la parte de la punta ambas por su armazón y por lo tanto cada grúa utilizará un aparejo.

La grúa que manipule la parte de la base necesitará:

- 2 eslingas de 10 Toneladas de carga de trabajo y 2,5 m de longitud.
- 2 eslingas de 10 Toneladas de carga de trabajo y 5 m de longitud.
- 5 grilletes de 10 Toneladas de carga de trabajo.

Durante la experiencia, se observó que la pala, debido a su forma para capturar el viento, no es simétrica. Mirándola desde la base, tiene más peso en su lado izquierdo, por lo tanto, es necesario levantar primero este lado para evitar que la pala se incline y quede atascada en la estructura, lo que dificultaría la operación. Con el fin de abordar este problema, se utilizaron dos grilletes en el lado derecho de la estructura y se añadieron dos eslingas para que la diferencia de longitud añadida por el grillete fuera menor. De esta manera, se logra elevar primero el lado opuesto de la pala. Esta solución fue desarrollada durante la descarga, ya que, con el aparejo original, la pala se inclinaba y quedaba atascada en la estructura de la pala inferior.

La grúa que manipule la parte de la base necesitará:

- 4 eslingas de 10 Toneladas de carga de trabajo y 5 m de longitud con ganchos en sus extremos.

## **Procedimiento:**

### **Armazón de la base.**

Para realizar el trincaje de la pieza a la grúa una pareja de estibadores escalará por la base de la pieza haciéndose firme a los puntos disponibles con el arnés.

Una vez en la parte superior el amantero mandará bajar el aparejo de la grúa para que los estibadores puedan coger los grilletes y hacerlos firmes a las espigas situadas en la parte superior del armazón, cuando bajen de la estructura, quitarán los elementos que juntaban las estructuras entre sí para que la pala pueda elevarse.

En la siguiente imagen se puede ver cómo queda el conjunto una vez hecho firme, en la parte derecha se puede apreciar cómo están hechos firme los grilletes a las espigas mientras que en la imagen de la izquierda se puede ver el conjunto de eslingas y grilletes hechos firmes al armazón de la base. A pesar de tener las eslingas que llaman hacia el lado derecho un grillete más se puede apreciar en la imagen que la estructura está nivelada.



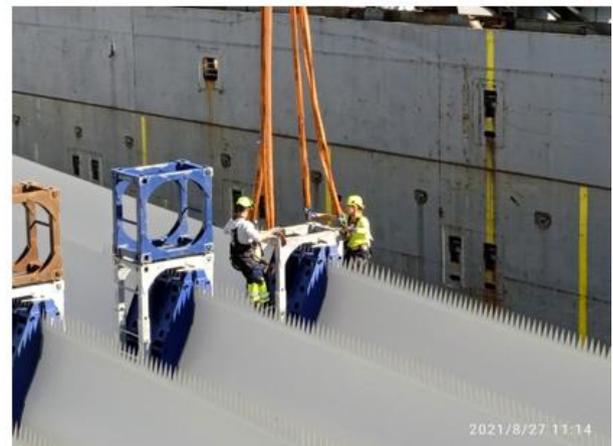
*Ilustración 39 Palas izadas con eslingas. Fuente: Autor.*

### **Armazón de la punta.**

En el armazón de la punta se emplea el mismo procedimiento que en el anterior, una pareja de estibadores trepara por las estructuras haciendo firme el arnés a los puntos disponibles.

Cuando lleguen a la parte superior, el amantero mandará bajar el aparejo para que los estibadores puedan hacer firmes los ganchos situados al final de las eslingas a la estructura metálica, en este caso una vez enganchada la pieza, cuando bajen los estibadores de la estructura quitarán los twistlocks localizados entre los armazones.

En la siguiente imagen se puede apreciar en la parte derecha a los estibadores fijando los ganchos a la estructura y en la parte izquierda como quedaría el conjunto una vez izada la pieza.



*Ilustración 40 Palas izadas con eslingas. Fuente: Autor.*

Para descargar la pala primero se elevará el armazón de la punta y a continuación el de la base de esta manera se evita que la pala pueda sufrir una fractura por torsión.

Cada vez que se tenga que realizar un cambio en el montón de palas para seguir la secuencia de descarga, las grúas intercambiarán los aparejos y se reposicionarán.

### 4.6.3 Carga en camión.

Durante la descarga, se utilizan camiones especiales para mover las palas del muelle a la campa de almacenamiento, la carga de la pala en el camión se realiza apoyando primero la parte de la base la cual se sitúa pegada a la cabeza tractora y a continuación la parte del extremo, ya que, si se hiciera al revés, la pala se podría dañar al recaer en primer lugar la mayoría del peso en la parte más débil. La estructura del extremo se coloca encima de una base giroscópica que permite el movimiento de la pala de manera independiente al del camión, de esta manera al ser tan largo el remolque se evitan torsiones.

Entre las estructuras y el camión se coloca una lámina de goma para aumentar el rozamiento.

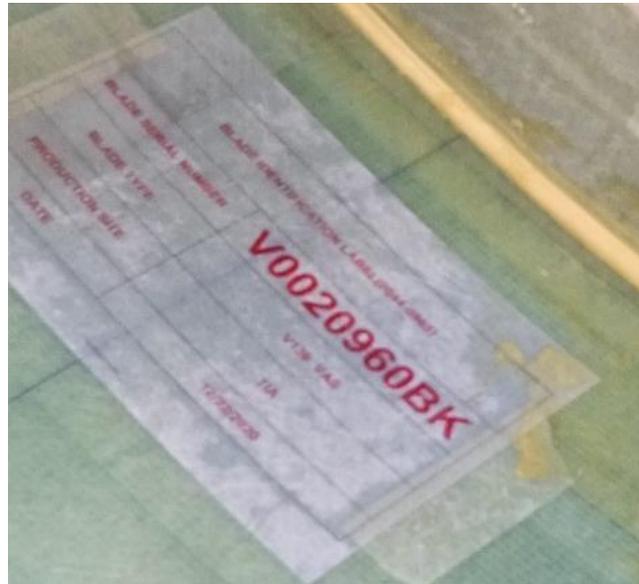


*Ilustración 41 Pala cargándose en el camión. Fuente: Autor.*

El sistema de trincaje utilizado para las palas consiste en el uso de cadenas y tensores, en la parte de la base se colocarán dos cadenas cada una en una esquina de la parte superior del armazón y se harán firme en el lado contrario formando una cruz.

En la estructura de la punta se utilizarán también dos cadenas desde la parte superior de la estructura a unos puntos de trincaje colocados transversalmente al armazón.

Una vez colocada la carga en el camión se verificará que el código de la etiqueta de la pala corresponde con el que podemos encontrar en el interior de la pala.



*Ilustración 42 Código en el interior de la pala. Fuente: Autor.*

Durante la operación de descarga se utilizaron tres camiones para que se pudiera simultáneamente descargar el buque usando un camión, colocar las palas en segunda línea con un segundo y el tercero utilizado para que no se pierda tiempo entre un sitio y el otro.

## 5 Conclusiones

### Primera

Es obvia la correlación entre la carga y descarga. Por este motivo, una lección aprendida a lo largo de este trabajo es la necesidad de la planificación adecuada de la estiba en el puerto de carga con relación a la secuencia de descarga que facilite el agrupamiento de los elementos comunes de cada molino y la optimización, entendida como el mínimo número de movimientos, en el empleo de los aparejos y las grúas de descarga.

### Segunda

Es muy importante contar con un procedimiento documentado para el manejo de cada componente. Esto facilita la formación de nuevo personal y brinda apoyo a los trabajadores encargados de las operativas, ya que dispondrán de un texto de fácil acceso al que recurrir cuando quieran completar sus conocimientos. A medida que se vayan actualizando los métodos de manipulación de la carga se actualizará el manual.

### Tercera

Un eficiente uso de los informes de daños producidos durante las operativas sería la implementación de medidas para cambiar los procedimientos y así evitar que se produjesen estos accidentes suponiendo así una mejora continua.

### Cuarta

Se elaboró una propuesta para redimensionar los elementos de izado de la base de la pala, de manera que se pueda compensar el desplazamiento del centro de gravedad de ésta hacía su zona de unión con el buje. El objetivo siempre debe ser que el gancho, en caso de una única grúa, quede encima de éste. O bien, en el caso de trabajar con dos grúas en tándem, que la elevación sea horizontal.

## 6. Referencias Bibliográficas

House, D. (2005) *Cargo Work for maritime operators*. 7.<sup>a</sup> ed. D.J House. Disponible en:

[https://books.google.es/books?redir\\_esc=y&hl=es&id=IO72zKBQMukC&q=sling#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?redir_esc=y&hl=es&id=IO72zKBQMukC&q=sling#v=onepage&q&f=false).

IRENA (2022) *Estadísticas de energía renovable 2022*. Disponible en:

<https://www.irena.org/>.

Organización Marítima Internacional (OMI) (1974) *Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 (Convenio SOLAS)*. Disponible en:

[https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx).

ORTIZ, L. (2007) *Mantenimiento de grúas para puertos marítimos.*, Universidad Politecnica Nacional. Universidad Politecnica Nacional. Disponible en:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1540/1/CD-0844.pdf>.

Pierrot; Michaël (2015) *The wind power*. Disponible en:

[https://www.thewindpower.net/turbine\\_es\\_1074\\_vestas\\_v136-3450.php](https://www.thewindpower.net/turbine_es_1074_vestas_v136-3450.php)

(Accedido: 3 de abril de 2023).

Sharma, M., Asim, M., Ali, N., Kumar, N., Gopal, N. y Xavier, N. (2011) *SINGLE PULL MACGREGOR TYPE HATCH COVER*. COCHIN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY.

Vestas (2015) *Vestas*. Disponible en: <https://www.vestas.com/en/products/4-mw-platform/V136-4-2-MW>.

## ANEXO II: Aviso responsabilidad UC

### AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.