



Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

Gestión de la reparación de un buque en
astillero

Para acceder al Título de Máster Universitario en

TECNOLOGÍAS MARINAS Y MANTENIMIENTO

Autor/a: Marcos Jiménez Garrido

Tutor/a: Javier Faes

Julio 2024

Agradecimientos

Mis agradecimientos van dirigidos a las personas de mi entorno que me ayudaron y me acompañaron en todo momento durante mi vida académica, y ahora en el comienzo de mi vida profesional.

A mis padres y mi hermano, por sus valores de lucha y perseverancia frente a cualquier adversidad y la constancia del esfuerzo. A mi pareja Cristina, por su ayuda incondicional y sus ánimos durante todo el proceso de formación y realización de este trabajo. Al astillero por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en un trabajo que me apasiona. A diego, mi compañero de trabajo del que aprendo mucho de nuestra profesión día a día y que sé que todavía tiene mucho que enseñarme. A todo el profesorado, compañeros y gente de la escuela que siempre llevaré conmigo y que me ayudaron de una u otra forma.

A todos ellos por, simplemente, formar parte de mi vida académica y profesional.

Resumen

La realización de los trabajos en un astillero forma parte de una serie de desafíos a los que los trabajadores se enfrentan día tras día. En este trabajo se verán ciertas operaciones llevadas a cabo por el equipo de trabajo de mecánica en una varada de un buque entre los que se encuentran la extracción de un timón, una hélice y un eje propulsor, las pruebas no destructivas a las que someten los equipos, su reparación y su montaje de nuevo para el correcto funcionamiento del buque. Añadido a ello, se verán ciertas particularidades de las instalaciones y de las operativas necesarias para la realización de los trabajos.

Abstract

Carrying out work in a shipyard is part of a series of challenges that workers face day after day. In this work we will see certain operations carried out by the mechanical work team in a ship grounding, among which are the extraction of a rudder, a propeller and a propeller shaft, the non-destructive tests to which they submit the equipment, its repair and its reassembly for the correct functioning of the ship. Added to this, certain particularities of the facilities and operations necessary to carry out the work will be seen.

Objetivos

Realizar un trabajo de recopilación de las actividades cotidianas realizadas en un astillero, así como las dificultades a las que se enfrentan los trabajadores.

Realizar una valoración sobre la necesidad de un equipo de marinos en un astillero para el correcto funcionamiento del mismo.

Poner en conocimiento la posibilidad de una salida profesional en tierra de los egresados en marina civil.

Índice

Agradecimientos	1
Resumen	2
Abstract	3
Objetivos	4
Índice.....	5
Índice de ilustraciones	6
1 Introducción	9
1.1 Historia del astillero	9
1.2 Contacto y contrato de obra.....	12
2 Gestión de la reparación de un buque en astillero.....	14
2.1 Metodología.....	14
2.2 Varado del barco	15
2.3 Extracción del timón	24
2.4 Extracción de la pala de la hélice.....	30
2.5 Extracción del eje propulsor.....	34
2.6 Pruebas realizadas al eje de propulsión y al timón	38
2.6.1 Líquidos penetrantes al timón.....	38
2.6.2 Líquidos penetrantes a la pala de la hélice	39
2.6.3 Líquidos penetrantes al eje propulsor	40
2.6.4 Medida de holguras en la mecha del timón.....	40
2.7 Colocación del eje propulsor y pala de la hélice	42
2.7.1 Colocación del eje propulsor.....	42
2.7.2 Colocación de la pala de la hélice.....	48
2.8 Colocación del timón	50
2.9 Botadura del buque	57
3 Conclusiones	59
4 Bibliografía	60

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Imagen del astillero avilesino en 1970 (Astilleros Ría de Avilés 2019) ...	10
Ilustración 2: Vista aérea del astillero (Astilleros Ría de Avilés 2019)	11
Ilustración 3: Ejemplo de pliego de especificaciones de una varada	13
Ilustración 4: Carro de varada con las torretas y los calzos	16
Ilustración 5: Cabrestante de varado en primer plano y cabrestante de botadura al fondo	17
Ilustración 6: Motor del cabrestante de varado en primer plano y cabrestante de botadura al fondo.....	17
Ilustración 7: Diagrama de fuerzas en una varada	18
Ilustración 8: Poleas móviles en la cabeza del carro	20
Ilustración 9: Imagen de los largos en la varada de un buque	21
Ilustración 10: Cabo de retención en una varada	22
Ilustración 11: Cabos de subida entre carro y un buque en la torreta de proa.....	23
Ilustración 12: Plano del timón.....	25
Ilustración 13: Medición de posición del timón	26
Ilustración 14: Posición de los polipastos sujetando la pala del timón.....	26
Ilustración 15: Despegue de la tuerca gato con la llave de impacto y la maza	27
Ilustración 16: Colocación de los 6 polipastos para la extracción de la pala.....	28
Ilustración 17: Extracción de la pala con el camión grúa.....	29
Ilustración 18: Colocación de la pala del timón en el muelle	29
Ilustración 19: Conexión del sistema de gobierno del paso de la hélice a través del mangón del eje propulsor	30
Ilustración 20: conexión entre la pala y el núcleo de la hélice	31
Ilustración 21: Base de la pala de la hélice con la numeración y la marca del apriete. 31	
Ilustración 22: Transporte de la pala de la hélice por debajo del casco.....	32
Ilustración 23: Transporte de la pala de la hélice hasta la grúa torre.....	33
Ilustración 24: Medición de la caída del eje.....	34

Ilustración 25: Imagen del mangón del acoplamiento donde se aprecian las ranuras de reparto del aceite y la conexión del aceite de dilatación.....	35
Ilustración 26: primeros pasos de la extracción del eje	36
Ilustración 27: Últimos pasos de la extracción de la hélice.....	37
Ilustración 28: colocación del eje propulsor en el muelle.....	37
Ilustración 29: Aplicación del líquido penetrante en la mecha del timón.....	38
Ilustración 30: Aplicación del líquido revelador y resultado final.....	39
Ilustración 31: Toma de medidas de holguras del casquillo de la mecha del timón.....	41
Ilustración 32: Sello de popa de la bocina del eje	42
Ilustración 33: Casquillo del sello de proa de la bocina del eje propulsor junto con las dos medias lunas del zuncho.....	43
Ilustración 34: soporte del sello de proa de la bocina del eje propulsor.....	44
Ilustración 35: Colocación del sello de popa con las juntas en el eje propulsor.....	45
Ilustración 36: Sello de proa de la bocina del eje propulsor suspendido	45
Ilustración 37: Cambio de pesos del eje entre la grúa y los polipastos.....	46
Ilustración 38: Último tramo de la inserción del eje propulsor	47
Ilustración 39: fijación de los sellos exteriores	47
Ilustración 40: Colocación de la pala de la hélice en posición	48
Ilustración 41: Anotación de los datos de la caída del eje en la caja del calibre	49
Ilustración 42: Tuerca gato del timón después de la limpieza	50
Ilustración 43: Enganche de los polipastos para la liberación de los ganchos de la grúa	51
Ilustración 44: configuración de polipastos para la inserción de la pala del timón	52
Ilustración 45: colocación de la tuerca gato en la mecha del timón.....	53
Ilustración 46: apriete de la tuerca gato a mano	53
Ilustración 47: conexión del gato hidráulico del aceite de dilatación del cono	54
Ilustración 48: Colocación del reloj comparador entre el mamparo de la pala y la mecha del timón	54
Ilustración 49: Cesáreas cerradas y limpieza mecánica de la pala del timón	55

Ilustración 50: Hélice y pala del timón finalizadas	56
Ilustración 51: buque con los trabajos de reparación finalizados.....	57
Ilustración 52: Maniobra de remolcaje del buque desde el final de la grada.....	58

Índice de tablas

Tabla 1: Apriete del timón	55
----------------------------------	----

1 Introducción

1.1 Historia del astillero

Según la Real Academia Española de la Lengua, un astillero es un establecimiento donde se construyen y reparan buques (RAE 2014). En el año 2006, España poseía un total de 22 astilleros ubicados principalmente en el norte de la península, con capacidad de construcción y reparación de buques de más de 100 GT (CEREZO 2006).

En el caso de Asturias, existen actualmente tres astilleros con las características mencionadas en el párrafo anterior. Dentro de ellos, que actualmente tengan una dedicación íntegra a la reparación de buques en el norte de España solo se registra uno.

En el año 1897, dos hermanos, Antonio y Aniceto Fernández Hevia fundan un pequeño astillero de ribera, con propósito de construcción y reparación de pequeñas embarcaciones de madera, datándose la goleta “Javier” como la construcción de mayor envergadura llevada a cabo por tal empresa (Domínguez 2019).

A principios del siglo XX, el astillero evoluciona con la creación de una grada de varado junto con carros, parrillas de construcción y talleres destinados a la creación de buques. En este mismo momento histórico, se instalan a lo largo de la ría otros astilleros tales como las sociedades Fernández y Álvarez, Morán Quirós y Co. o Iglesias y Martínez, cerrando estos a mediados del mismo siglo debido a la concesión de los terrenos que ocupaban a las empresas nacionales ENSIDESA y ENDASA, destinadas a la fabricación de acero y aluminio respectivamente (Domínguez 2019).

En el año 1974, la sociedad con nombre Fernández Hevia cambia de titularidad y comienza a denominarse Astilleros Ojeda y Aniceto, S. A., nombre que se mantiene debido a fines comerciales, pero comienzan a centrar su producción en buques pesqueros y pequeñas embarcaciones multifunción hasta el año 1992, momento en el que la sociedad se disuelve y las instalaciones son compradas por la compañía La Parrilla, ubicada en el pueblo costero de San Esteban de Pravia. En ese año, el astillero recibe el nombre de Astillero Ría de Avilés, nombre que conserva hasta la actualidad (Domínguez 2019).

En ese momento, el astillero avilesino se dedica a la construcción en la parrilla de los cascos de acero de hasta 86 metros de eslora, que posteriormente se remolcarían hasta las instalaciones de San Esteban de Pravia donde se armarían (Astilleros Ría de Avilés 2019).



**Ilustración 1: Imagen del astillero avilesino en 1970
(Astilleros Ría de Avilés 2019)**

Junto con la construcción de buques, el astillero también ofrece servicios de reparación. Como muestra de ello, se tiene contabilizadas hasta 1660 reparaciones en buques ente 1986 y 2010 (Astilleros Ría de Avilés 2019). Entre estas reparaciones, existen:

- Renovaciones y reparaciones en acero
- Revisiones anuales, bianuales, cuatrienales y quinquenales
- Cambios de motores principales y grupos electrógenos
- Alargamientos de buques
- Transformaciones navales

En el año 2008, se obtiene por parte de la autoridad portuaria de Avilés los permisos necesarios para la construcción de una segunda grada con una capacidad de varada de buques de 119 metros de eslora, 18,5 metros de manga y 7 metros de calado junto con un muelle de armamento de 105 metros de eslora y 3 naves más, una destinada a almacén de 500 m², una a la creación de un taller de carpintería de 600 m² y una destinada a la prefabricación de bloques de acero de 1000 m². Estas obras de ampliación concluirían en el año 2010 (Astilleros Ría de Avilés 2019).

Esta grada se complementarían a la ya existente de 90 m de largo y 14 m de ancho destinada al varado de buques de menor tamaño como son los pesqueros. Estas gradas disponen actualmente de dos grúas móviles DEMAG de 45 toneladas cada una; dos grúas torres de 5 toneladas de carga cada una; una grúa pórtico de 50 toneladas; una plataforma articulada elevadora de 24m y dos palas de carga y elevación (Astilleros Ría de Avilés 2019).

Entre los talleres existentes en el astillero, se encuentra una nave de calderería de más de 2000 m² de superficie dotada con:

- 4 puentes grúa de 10 Toneladas.
- 2 Prensas hidráulicas
- Una máquina de cilindros de doblado de chapas
- Maquinaria para doblado de perfiles
- Una máquina plegadora
- Una máquina cizalladora
- 10 máquinas de oxicorte

También se dispone de una nave de 600 m² destinada a los trabajos de mecanización, ajuste y mecánica dotada con tornos, taladros, fresadoras, mandrinadoras, sierras, máquina de limpieza de piezas por ultrasonidos y un puente grúa de 5 toneladas.

Por último, también existe un taller de tubería de 200 m² dotado de curvadoras de tubería, sierras de corte y equipos de soldadura. En conjunto, las instalaciones actuales del astillero ocupan una superficie total de 60 000 m² (Astilleros Ría de Avilés 2019).



Ilustración 2: Vista aérea del astillero (Astilleros Ría de Avilés 2019)

1.2 Contacto y contrato de obra

Para la contratación de una obra de reparación, actualmente se utiliza la figura de un bróker, el cual se mueve en el entorno marino, en contacto con las navieras, de forma que es capaz de enterarse de averías de buques que necesiten varada. Su labor se ve recompensada con un pequeño porcentaje del coste acordado de reparación entre el astillero y la naviera, el cual puede variar entre diferentes obras.

Por otro lado, existe una serie de clientes fijos, los cuales acuden al mismo astillero con diferentes buques y diferentes problemas de averías ya sea para pequeñas reparaciones a flote o con necesidad de varada, de forma que es directamente la naviera la que se pone en contacto directo con el astillero para el acuerdo de obra.

En el caso concreto de la varada del buque Ura, propiedad de la naviera Murueta, el contrato de obra se produce gracias a la estrecha relación entre ambas empresas para las varadas, tanto programadas como de emergencia, para la solución de los problemas de sus buques en el astillero asturiano.

Una vez se ha concertado una varada de un buque, se realiza una reunión entre las dos partes interesadas. Por un lado, en representación del astillero, se reúnen la dirección y el ingeniero naval. Por el otro lado, el armador acompañado de los inspectores de la compañía son los representantes de la naviera.

En esa reunión se especifica lo que debe contener el contrato de obra, el denominado pliego de especificaciones. En él se enumeran paso a paso todas las reparaciones y modificaciones que se deben llevar a cabo en el buque, los plazos de obra y diferentes cláusulas añadidas.

	<ul style="list-style-type: none"> - Recorte de la línea de flotación. - Calados. - Disco de francobordo. - Grabar y pintar puerto de matrícula en ambos costados "8° CO 2-3-91". - Nombre del buque.
--	--

12.- PROYECTORES Y EQUIPAMIENTO CIENTÍFICO

La pintura y su esquema se corresponden con la recomendación del fabricante de los proyectores y deberá por ello emplearse exclusivamente pintura indicada por el fabricante de los equipos.

12.1	Revisión y limpieza de las zonas exteriores de todos los proyectores, sonda, corredera, etc. Deben ser protegidos con grasa, vaselina u otros medios adecuados para que no queden restos de pintura en las operaciones de pintado del casco.
------	--

13.- LIMPIEZA DE HÉLICE

13.1	Limpieza completa externa y pulido de las palas de la hélice propulsora y núcleo (hélice de tres palas). Retirando cualquier tipo de incrustación. Pintado de la misma con el mismo esquema que la obra viva.
------	---

14.- REJILLAS Y COLECTOR

14.1	Desmontar rejillas de las comunicaciones de fondo. Limpiar, raspar, pintar y volver a montar con el esquema de la obra viva.
14.2	Limpieza de los tubos de aspiración de las tomas de mar.

15.- VÁLVULAS DE FONDO Y DESCARGAS DE COSTADO

15.1	Destapar válvulas de todas las comunicaciones de fondo (3). Limpiar, reconocer, ajustar, esmerilar, empaquetar y volver a tapar con juntas nuevas.
15.2	DESCARGAS AL COSTADO EN CÁMARA DE MÁQUINAS. Desmontar las 8 válvulas de descargas al costado, todas ellas de charnela. Retirar las válvulas del barco, despiezarlas, limpiar, reconocer, ajustar, esmerilar, empaquetar y volver a tapar con juntas nuevas. Comprobando el funcionamiento. <ol style="list-style-type: none"> 1. Descarga bomba de achique n°1 y 2 Er. 2. Descarga inodoro y termosalinógrafo. 3. Descarga al mar motor principal Br.

Ilustración 3: Ejemplo de pliego de especificaciones de una varada

2 Gestión de la reparación de un buque en astillero

2.1 Metodología

Para la realización de este trabajo, se obtuvieron todos los datos y fotografías necesarias en la obra, durante el periodo comprendido entre la llegada del buque al astillero, hasta la botadura y final de obra del mismo.

2.2 Varado del barco

Previo a la varada de un buque, son necesarios ciertos preparativos de las instalaciones para la correcta operación de varado. En un primer lugar, gracias a la eslora del buque y concretamente, a la eslora de la quilla, se coloca el número de carros necesarios para que el buque apoye en la totalidad de la eslora, contribuyendo de esta manera a un mejor reparto del peso del buque, y unidos mediante pletinas con bulones entre sí. En el caso particular de este buque, se utilizaron 27 carros de 4 metros de largo cada uno, con una longitud aproximada de 120 metros en el conjunto para poder tener un margen de seguridad en cuanto al asiento del buque en el carro.

Estos carros son unos elementos fundamentales en el varado de los buques, componiéndose de una estructura de perfiles IPN o también conocidos como de “doble T” colocados de manera perpendicular a las vías de la grada y unidos entre sí también con perfiles IPN perpendiculares a los primeros. Estas plataformas, que en ocasiones se refuerzan con una plancha de 20 mm de espesor, tienen hasta 8 ruedas de acero de 300 mm de diámetro, que se reparten en 2 ruedas por cada raíl de la grada para la transmisión del peso al suelo. En el caso de los carros con una mayor anchura, disponen de 12 ruedas que se apoyan en los 6 raíles que componen el total de la grada.

Estos últimos carros de mayor anchura, tienen acoplados en su extremo de estribor, dos elementos denominados torretas, las cuales sirven de apoyo al buque a la hora de la varada para colocarse en posición, como referencia para conocer la posición con respecto al carro bajo el agua y el punto en el cual se debe situar el buque para ocupar el mayor número de carros posibles, que como se comentó en el párrafo anterior, siempre es unos metros más largo por seguridad.

El punto de anclaje de estas torretas, se sitúa a una distancia de media manga del buque, siendo en esta ocasión a 8,5 metros desde el centro del carro. El sistema de anclaje de las torretas al carro es mediante 8 tornillos con tuercas de métrica 16 en cada torreta, 4 de los tornillos se fijan por la proa de la torreta y los otros 4 por la popa de la torreta. Como añadido de seguridad, se le sueldan 4 chapas de 100x70 mm y de 5 mm de espesor entre la torreta y el carro.

Como ayuda a la hora de la varada de los buques, cuando el carro se encuentra bajo el agua, se creó una escala de calados a ambas torretas siendo la cota 0 la que corresponde a la parte superior del carro. Gracias a la escala de las torretas, es posible saber mediante una comparación con la escala de calados del barco si el buque sigue a flote o si ya empezó a asentarse en el carro.



Ilustración 4: Carro de varada con las torretas y los calzos

En la parte superior de los carros, se colocan los denominados calzos. Estos últimos se componen de perfiles IPN de dos metros y medio de longitud, reforzados en su exterior mediante planchas de acero de 14 mm de espesor soldadas en todo su perímetro al perfil y con dos orejetas en sus extremos para su transporte y colocación. Para el amortiguamiento de los esfuerzos de compresión que se producen entre el buque y los calzos, se sitúan unos largueros de madera de 200x250 mm y dos metros y medio de longitud clavados al mismo.

Estos calzos se colocan de forma perpendicular a lo largo de toda la quilla del buque y se disponen tres unidades por cada carro. De manera auxiliar, se sitúan calzos laterales encima de las vías en la misma dirección tal y como se aprecia en la Ilustración 4. Todos ellos van soldados a los carros mediante chapas de acero de 100x70 mm y de 5 mm de espesor. En caso de que sea necesario modificar la posición de los calzos en función del tamaño y peso del buque a varar, estas chapas permiten ser cortadas sin dañar la integridad de los mismos.

Una vez el carro de subida del buque está situado y completo, el último preparativo es la determinación del número de poleas de reenvío que son necesarias para subir de manera segura el buque hasta su varada completa. Para ello, es necesario conocer ciertos detalles y particularidades del astillero.

En primer lugar, el método de subida de un buque es mediante un cabrestante con un tambor de 1,7 metros de diámetro, movido por un motor eléctrico a través de una reductora. De manera auxiliar, para la botadura de los buques y bajada del carro, es necesario el uso

de otros dos cabrestantes a modo de reenvío que tiren del carro hacia abajo. Esto es debido a que el sumatorio de las fuerzas de resistencia a la rodadura y rozamiento del sistema se igualan incluso en ciertos momentos, pueden llegar a superar la componente en el eje x del peso del buque y del carro, siendo así necesario el uso de una fuerza que impulse el buque hacia el agua.

Estos cabrestantes son movidos de manera hidráulica. Gracias a una bomba hidráulica que levanta la presión del aceite y dos mandos, se controla independientemente cada cabrestante de reenvío con un mando. Esto es necesario ya que aunque la velocidad angular sea la misma, la diferencia de diámetros produce una diferencia de velocidad lineal de uno respecto al otro.



Ilustración 5: Cabrestante de varado en primer plano y cabrestante de botadura al fondo



Ilustración 6: Motor del cabrestante de varado en primer plano y cabrestante de botadura al fondo

Mediante un diagrama de fuerzas en el plano XY, se puede obtener el valor de la tensión que soportan los cables en función del peso del buque.

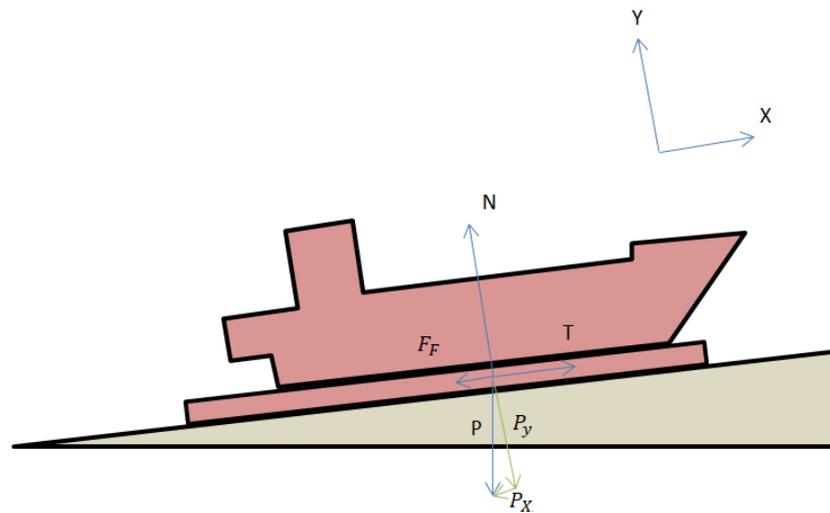


Ilustración 7: Diagrama de fuerzas en una varada

De la ilustración anterior, la cual representa la grada del astillero con el carro y el buque, en el momento de la subida, con velocidad constante y por lo tanto, sin aceleración, se extrae que:

$$\sum \text{Momentos} = 0 \quad (1)$$

$$\sum \text{Fuerzas}_{eje X} = 0 \quad (2)$$

$$\sum \text{Fuerzas}_{eje Y} = 0 \quad (3)$$

Si se desarrollan los diagramas de fuerzas de las fórmulas 2 y 3, se obtiene respectivamente:

$$T = P_x + F_F \quad (4)$$

$$N = P_y \quad (5)$$

Donde T es la tensión de subida que existe en los cables, P_x el peso del conjunto buque y carro en el eje X, P_y la componente del peso del conjunto en el eje Y, N la fuerza normal ejercida por el plano inclinado sobre dicho conjunto y F_F la suma de las fuerzas de resistencia a la rodadura y de rozamiento existentes en el sistema.

Operando las fórmulas 4 y 5, se obtiene que:

$$T = P \cdot \sin 4^\circ + \mu \cdot P \cdot \cos 4^\circ \quad (6)$$

$$N = P \cdot \cos 4^\circ \quad (7)$$

De tal forma que las componentes horizontal y vertical del peso se dividen en el valor del peso del conjunto por el seno y coseno de 4° , ya que esta es la inclinación de la grada y por consiguiente el ángulo formado entre el peso y el eje Y.

El siguiente problema que se plantea, es el valor del coeficiente de fricción, el cual es desconocido de manera teórica. Gracias a la necesidad de un sistema de tiro para la botadura de los buques, ya que estos no bajan por la acción de la gravedad, se deduce que la fuerza de resistencia al movimiento, se iguala a la componente horizontal del peso del buque, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$P_x = F_F \quad (8)$$

Si se desarrolla esta igualdad, se obtiene:

$$P \cdot \sin 4^\circ = \mu \cdot P \cdot \cos 4^\circ \quad (9)$$

Operando en la fórmula anterior se obtiene:

$$\mu = \frac{\sin 4^\circ}{\cos 4^\circ} = \tan 4^\circ = 0,0699 \quad (10)$$

Gracias a esto, se puede establecer una relación proporcional y directa entre el peso del conjunto buque-carro, con la tensión de subida necesaria, facilitando el trabajo en el campo al cálculo directo del 13% del peso del buque, según se ve en la siguiente fórmula.

$$T = P \cdot (\sin 4^\circ + \mu \cdot \cos 4^\circ) = P \cdot 0,1394 \quad (11)$$

El siguiente paso es la obtención del dato del peso del buque en el momento de la varada. Para este punto, se pretende que el buque llegue lo más aligerado posible, en el denominado desplazamiento en rosca. Para el caso concreto del buque Ura, el dato aportado por parte de la naviera, es un peso de 2124 toneladas. A este peso, es necesario sumarle el peso del carro, el cual se sitúa en 200 toneladas. Con estos datos, se obtiene que el conjunto de buque y carro tiene un peso de 2324 toneladas, que si se introduce en la fórmula 11, se obtiene un valor de la tensión de 321,87 toneladas.

Esta tensión de subida se debe dividir entre el número de poleas y reenvíos necesarios para evitar sobrepasar el límite de seguridad de tensión que es capaz de soportar el cable. El cable utilizado en el varado de los buques, tiene un límite de fuerza máxima a la tracción de 50 toneladas, que con un coeficiente de seguridad de 2, el límite se sitúa en 25 toneladas. Mediante la fórmula 12 que relaciona la fuerza frente a la tensión de subida, se obtiene que son necesarias 6,43 poleas móviles en la cabeza del carro, redondeándose a 7.

$$Fuerza\ aplicada = \frac{Tensión\ de\ subida}{2 \cdot n^{\circ}\ de\ poleas\ móviles} \quad (12)$$

$$n^{\circ}\ poleas\ móviles\ necesarias = \frac{321,87}{25 * 2} = 6,43 \cong 7$$



Ilustración 8: Poleas móviles en la cabeza del carro

El día 27 de mayo del 2024, se produce la llegada del buque al muelle de armamento del astillero, asistido por los remolcadores del puerto de Avilés. Entre dos remolcadores y la ayuda de la lancha de los prácticos empujando en momentos de necesidad para frenar las inercias del buque, se posicionó de manera paralela al muelle y a popa del lugar de atraque, de manera que con un avance a poca velocidad de la máquina propulsora del buque se colocara en posición para el amarre del mismo y se pudiera detener con las maquinillas de proa y popa gracias a dos largos de proa, un spring de proa, un spring de popa y un través de popa, debido a que la longitud del muelle no permite amarrar un largo a popa.

Antes de proceder a la varada del buque durante la pleamar para tener el mayor calado en el carro posible, el buque debe tener un asiento positivo, lo más similar a la inclinación de la grada, la cual ya se comentó que es de 4 grados. Aunque esto no siempre sea posible, se busca conseguir el mayor paralelismo entre la quilla del buque y el carro

para conseguir que asiente todo a la vez y no concentrar los esfuerzos en la proa del buque, al ser ésta la parte que primero apoya. Es común que para ello, se consiga un asiento negativo en la escala de calados de proa.

Con todos los preparativos listos, se procedió a la varada del buque. Para ello, y con la ayuda de un práctico en el puente del buque, se direcciona el buque a la posición del carro, el cual debe haberse sumergido anteriormente a una profundidad suficiente. Una vez se ha realizado la aproximación del buque a la grada, se lanzan desde el buque unas sisgas al muelle, las cuales están atadas a los largos de proa, haciéndose firmes en las bitas ubicadas en los muelles tanto de babor como de estribor.



Ilustración 9: Imagen de los largos en la varada de un buque

En ese momento, la sisga utilizada en el largo de estribor, se desata del cabo y se ata a uno ubicado en el muelle para lanzar de nuevo al buque. Este cabo, denominado por los trabajadores del astillero como “retenida” cumple las funciones de un spring de proa para frenar la inercia del buque, de ahí su nombre, ya que es el único capaz de cumplir dicha función. Por último, un cabo se lanza desde la popa del buque hacia el muelle, para cumplir las funciones de un spring de popa.



Ilustración 10: Cabo de retención en una varada

Una vez los cabos se han hecho firmes, el remolcador empuja desde babor para acercar el buque a las torretas, y con la ayuda de los largos de proa y la retenida, se posiciona el buque. Para el buque Ura, se calculó que la torreta de proa debe estar en la cuaderna 65.

Con el buque situado sobre el carro, un buzo baja a la zona de proa para confirmar que todo está correctamente, que los calzos están en posición y que no existe ningún objeto extraño que pueda poner en riesgo la varada. Acto seguido, se hacen firmes unos cabos situados en la base de las torretas y atados al carro en un extremo y llevados hacia proa y popa de las torretas como se muestra en la Ilustración 10. Estos van a ser los encargados de que a la hora de empezar a mover el carro hacia arriba, el buque suba lo más solidario posible con éste hasta que se encuentre totalmente apoyado en los calzos.



Ilustración 11: Cabos de subida entre carro y un buque en la torreta de proa

En este momento, el carro empieza a subir junto con el buque y es necesario ir soltando las amarras que se utilizaron entre el buque y el muelle. La primera en soltarse es la retenida, posteriormente se sueltan los largos de proa, y por último, cuando el buque ya está completamente apoyado en el carro y el spring de popa se convierte en un través, se suelta, restando solamente el remolcaje del buque hasta que éste ha salido completamente del agua. Con el buque fuera del agua, en el carro se colocan unas uñas denominadas “perrillos”, las cuales funcionan como trinquete entre los carros y las vías y sirven como medida de seguridad para evitar que el buque pueda perder la posición y retroceder.

Una vez el buque ha sido varado por completo, se coloca una escalera para dar acceso al buque en el costado de estribor, se conectan los servicios de electricidad, agua sanitaria, agua del sistema contra incendios y sistema de residuos fecales. Añadido a ello, también se suministra el servicio de basuras que se bajan del barco gracias a la grúa torre.

2.3 Extracción del timón

Una vez el buque ha sido varado y todos los suministros han sido conectados, se da comienzo a los trabajos a bordo. Para la extracción de la pala del timón, es necesario preparar una serie de andamiajes en la popa del buque que permita acceder con facilidad tanto a la hélice para su posterior extracción como al timón. Esto se produce por dos motivos principales, el primero para poder salvar los 4 metros de altura entre el plan de la grada y el eje, y por segundo motivo, para poder acceder a la zona con la marea alta, pues la marea llega a inundar la parte baja del timón en pleamar, al existir una gran diferencia de mareas en el estuarios, con una máxima registrada en Avilés de 4,6 metros (Tabla de mareas 2024).

Una vez se han colocado los andamios de tal forma que permitan trabajar de manera cómoda, los soldadores proceden por un lado a la adición de unas orejetas fijadas a la pala del timón, que posteriormente serán los puntos de levantamiento y sujeción de la pala para su extracción. Estas 4 orejetas, se soldarán dos por cada banda, de forma que queden en la mitad superior de la pala y a proa y a popa del centro de gravedad de la pala.

Paralelamente, y gracias a los planos del timón aportados por la naviera para la varada, el calderero realiza las cesáreas necesarias al forro de la pala para tener acceso a la tuerca gato que une la pala del timón a la mecha, como se ve en el plano de la Ilustración 12.

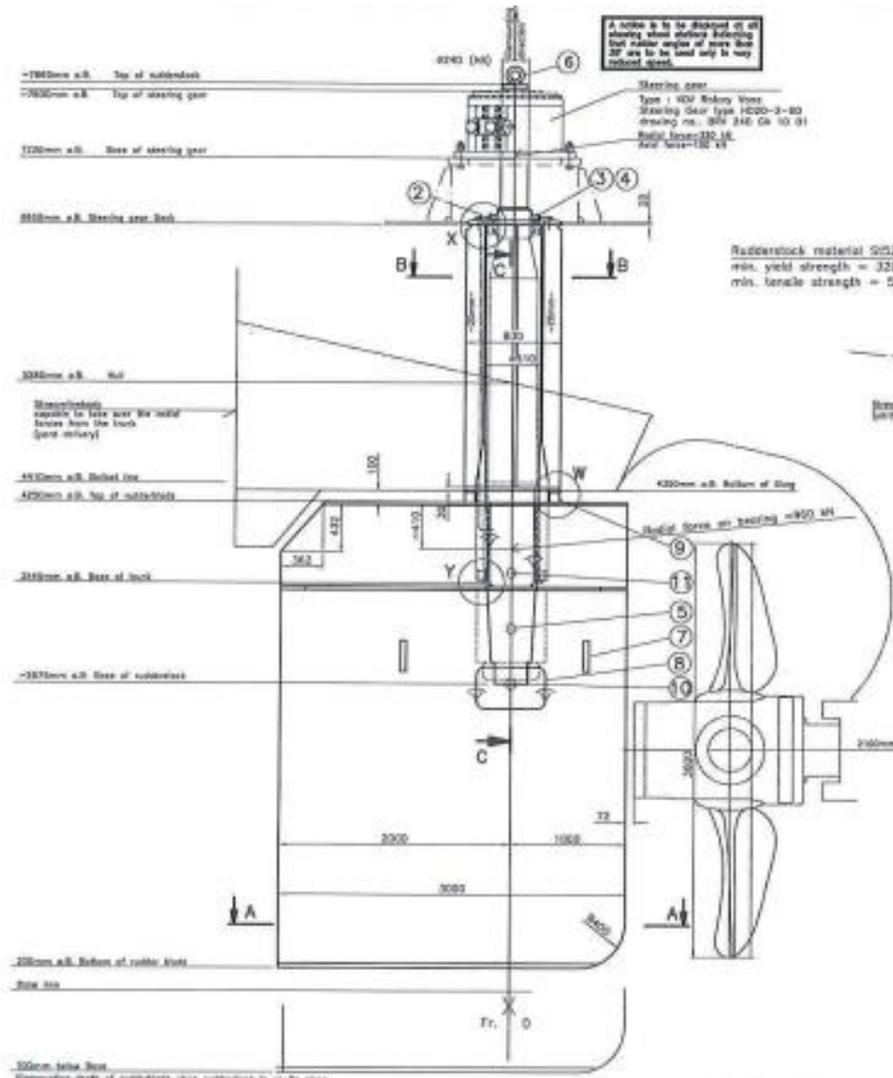


Ilustración 12: Plano del timón

Como se puede apreciar en la Ilustración 12, el método de sujeción del timón es mediante apriete hidráulico. El sistema consiste en dos conos con la misma conicidad, de manera que uno apriete contra el otro. Para conseguir ese apriete, es necesario en la instalación de la pala, dilatar mediante presión hidráulica el cono de la pala para permitir el ascenso de la misma. Paralelamente, una tuerca hidráulica colocada en la parte inferior de la mecha, empuja el timón hacia arriba, llevándolo a su posición.

Para conocer el estado de apriete y posición de la pala contra la mecha, se realiza una medición de cuanta mecha sobresale por debajo de la tuerca gato. Este dato da una referencia para saber posteriormente cuánto se ha de calar el timón, para dejarlo en su posición. Gracias a la medición con calibre, se obtuvo que esta medida era de 16 mm.



Ilustración 13: Medición de posición del timón

Para reducir pesos innecesarios en la operación de extracción, se abre el tapón situado en la parte inferior del timón, destinado al drenado del agua que haya podido entrar a la pala. A continuación, con el uso de 4 polipastos de 5 toneladas cada uno, se crea tensión en ellos para que sean ellos los que soporten el peso del timón, estimado en torno a las 5 toneladas, valor que se corroborará posteriormente gracias a la célula de carga de la grúa.



Ilustración 14: Posición de los polipastos sujetando la pala del timón

Una vez el peso de la pala del timón recae en los 4 polipastos, se procede a la extracción parcial de la tuerca gato. Esta extracción parcial consiste en el uso de una llave de impacto en un primer momento junto con una maza para despegar la tuerca como se aprecia en la Ilustración 15. El desatornillamiento de la tuerca debe ser tal que permita el suficiente desplazamiento vertical del timón como para que el cono de la pala se despegue del cono de la mecha, pero no demasiado para que el timón no golpee la tuerca y llegado el momento, sean los polipastos los que sostengan el peso.



Ilustración 15: Despegue de la tuerca gato con la llave de impacto y la maza

Posteriormente, se libera la tensión en los polipastos para permitir el movimiento de la pala, pero, como se comentó en el párrafo anterior, sin que este llegue a pegar contra la tuerca, de tal manera que la única sujeción que tiene la pala en ese momento es la fricción de los conos. Para crear la dilatación del cono de la mecha, se conecta una bomba hidráulica manual con capacidad de levantar presiones de hasta 100 megapascales. Este aceite se introduce a través de una conexión en la pala, y que mediante un orificio y surcos en la superficie del cono, lo distribuye uniformemente por toda la superficie. Para la extracción de este timón, fueron necesarios 90 megapascales de presión de dilatación.

Una vez la pala del timón queda suspendida por los cuatro polipastos, se extrae por completo la tuerca gato, la cual se lleva al taller de mecánica para su limpieza y prueba de funcionamiento. A continuación, se comienza con la bajada gradual del timón gracias a los cuatro polipastos, evitando en todo momento el golpeo de la mecha por parte de la pala.

Llegado cierto punto de descuelgue, se hace necesario el uso de dos polipastos extra para inclinar la pala del timón, debido a que el diseño de extracción de estas palas está pensado para llevarse a cabo en un plano horizontal, como es un dique seco. Por el contrario, en una grada con un 7% de inclinación, se hace necesario el uso de los polipastos

para darle la misma inclinación a la pala, la cual tendería a bajar vertical. Esto se consigue mediante la colocación de los polipastos colocados de manera oblicua en las orejetas de popa.



Ilustración 16: Colocación de los 6 polipastos para la extracción de la pala

De esta forma, se consigue bajar la pala hasta el punto en el que pase por debajo de la mecha hacia atrás, para su extracción por la popa. En ese momento, se realiza un juego con los polipastos para que de manera horizontal, el peso que se encuentre repartido entre los dos pares de polipastos, se cedan a los posteriores, de manera que cada vez se desplace más hacia la vertical de estos. Esta maniobra en la que se cobra cadena en la pareja de polipastos que se desea que cojan carga, y se largue cadena en la que se desea que suelten se denomina “tirolina a la americana”.

Una vez el peso de la pala del timón recae sobre los polipastos situados más a popa, se liberan por completo los dos polipastos situados más a proa, quedando suspendida por los otros 4. El siguiente paso para la extracción, consiste en el acople de los ganchos del camión grúa a las orejetas de popa, comenzando de esta manera otra operación de tirolina a la americana, hasta que el peso se reparta entre el camión grúa y los últimos polipastos a popa, quedando espacio suficiente para acoplar los otros dos ganchos de la grúa para la extracción final de la pala hasta el muelle.



Ilustración 17: Extracción de la pala con el camión grúa



Ilustración 18: Colocación de la pala del timón en el muelle

2.4 Extracción de la pala de la hélice

Una vez la pala del timón se colocó en el muelle, el siguiente punto corresponde a la extracción del eje propulsor. Debido a los motivos constructivos del buque, para poder extraer el eje propulsor, es necesario el desmontaje de una pala de la hélice para poder pasar todo el conjunto por debajo de la mecha del timón sin tropiezos ni golpes que puedan dañar la rosca de la tuerca en la mecha del timón o el propio eje.

El primer paso para el desmontaje de la pala de la hélice es la desconexión del sistema de gobierno del paso variable de la hélice. En este buque, el cambio de ángulo de paso se realiza mediante hidráulica, recorriendo todo el eje desde la reductora a través de dos tuberías concéntricas. Una vez en la hélice, el aceite hidráulico llega al núcleo, activando unos pistones en cada pala que crean la rotación de la hélice para el cambio del paso.



Ilustración 19: Conexión del sistema de gobierno del paso de la hélice a través del mangón del eje propulsor



Ilustración 20: conexión entre la pala y el núcleo de la hélice

Una vez se ha realizado la desconexión del sistema de gobierno, es necesaria la retirada del aceite remanente dentro del núcleo de la hélice y eje propulsor. Para ello, se vira la hélice hasta colocar el tapón de drenaje, ubicado en el núcleo de la hélice, en la parte más baja. En ese momento, se coloca un bidón debajo para recoger el aceite y evitar la contaminación al mar y se procede a la retirada del tapón.

Con el sistema libre de fluidos, se procede a la retirada de los tornillos de sujeción de la hélice al núcleo. Estos se encuentran numerados del uno al seis y con una marca coincidente en la hélice para conocer posteriormente el punto de apriete de los tornillos.



Ilustración 21: Base de la pala de la hélice con la numeración y la marca del apriete

Para realizar la extracción de los tornillos, es necesaria la acción conjunta, de una llave de apriete hidráulica, la cual produce el par de torsión, Junto con ello, se utiliza una llave de impacto, a la cual se le soldó por un lado el vaso que va al tornillo, y por el otro lado el acople que va a la llave hidráulica. Esto se realiza para dar la vibración necesaria al tornillo mediante golpes de martillo o maza para desatornillar, recreando a mayor escala entre los dos útiles, la forma en la que opera una pistola de impacto.

A continuación, se procede al eslingado de la pala para su transporte al muelle. Esto se realiza mediante dos eslingas abrazando la base de la pala y entrelazándose para llegar a la punta de la hélice, punto desde el que se va a colgar con la ayuda de un grillete. A este grillete se engancha un polipasto ubicado en la vertical de la hélice sujeto a una orejeta del casco, y otro polipasto situado a un costado y a popa de la hélice. De tal forma, se consigue realizar el transporte mediante la “tirolina a la americana” hasta el punto en el que la grúa pueda acceder al grillete de la hélice.

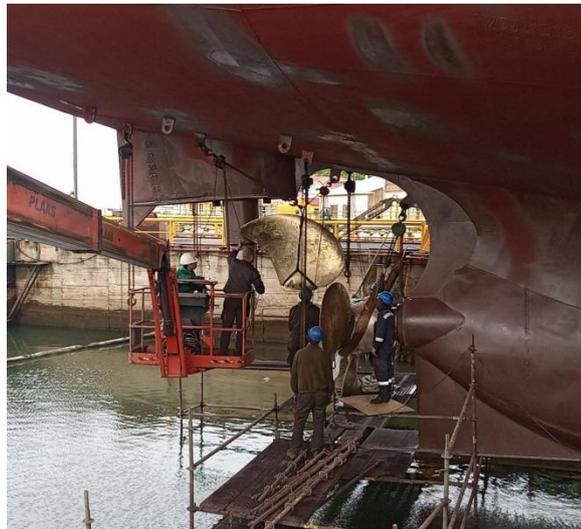


Ilustración 22: Transporte de la pala de la hélice por debajo del casco

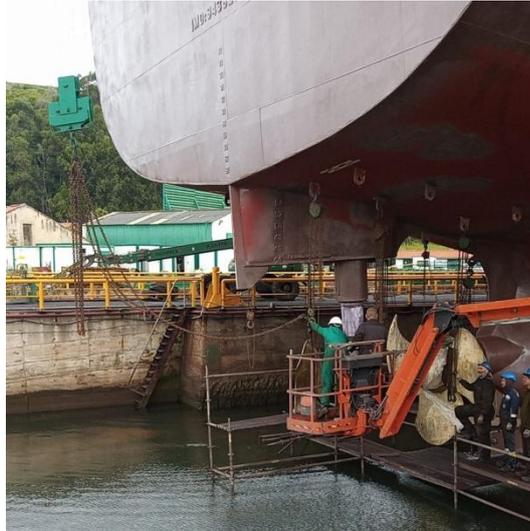


Ilustración 23: Transporte de la pala de la hélice hasta la grúa torre

Una vez la pala de la hélice se colocó en el muelle, se transportó al igual que los tornillos de sujeción hasta el taller de mecánica para la limpieza y preparación para las pruebas y se protegió la zona del núcleo de la hélice para impedir la entrada de cuerpos extraños.

2.5 Extracción del eje propulsor

Una vez se extrajo la pala de la hélice, y esta puede pasar al igual que el eje propulsor por debajo de la mecha sin sufrir daños, se extrae el aceite de la bocina de manera similar a como se extrajo el aceite del sistema de paso variable.

En primer lugar se corta y se extrae el guardacabos que protege los sellos, mientras tanto, otro equipo de trabajo cierra la válvula que conecta la bocina con el tanque de compensación y se coloca un contenedor GRG (Gran Recipiente de mercancías a Granel) en la parte inferior de los sellos. Posteriormente, se abre el tapón de los sellos que permite el drenado de las diferentes cámaras del sello. Este buque está equipado con tres cámaras de aceite en la bocina. Una vez se han sacado los tres tapones de las cámaras, se dejan drenando una noche entera, debido al gran volumen de aceite a pasar a través de un orificio de 13 mm de diámetro.

Con la bocina completamente drenada, se realiza la medición de la caída del eje. Este proceso mide la diferencia de alturas existente entre el soporte de los sellos y el casquillo del eje sobre el que apoyan los sellos. Esta medida se ha de tomar en la parte superior e inferior del eje en el tapón central del sello de popa, roscando un tapón con orificio en el sitio del tapón central para guiar el calibre y el propio calibre, midiendo la profundidad. Esta medida tiene una precisión de centésimas de milímetro y se repetirá una vez se monte el eje, realizando una comparación entre el antes y el después y las diferentes extracciones pasadas.

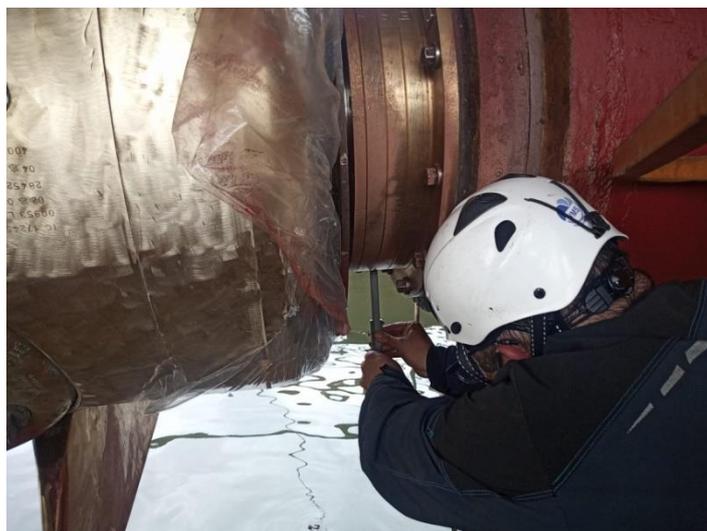


Ilustración 24: Medición de la caída del eje

A continuación, es necesaria la desconexión del mangón del acoplamiento que une el eje a la reductora. Para ello, de manera similar a como se hizo en la mecha del timón, se introduce presión de dilatación entre el eje y el mangón para expandir el segundo y liberarlo

del primero. Con el mangón del acoplamiento suelta, se procede al desatornillamiento de los sellos de la bocina. Tanto por proa como por popa se aflojan los tornillos que unen los sellos al casco, y se retiran conforme el eje va saliendo por la bocina.



Ilustración 25: Imagen del mangón del acoplamiento donde se aprecian las ranuras de reparto del aceite y la conexión del aceite de dilatación

A continuación, se procede a la extracción mediante polipastos del eje propulsor. La configuración de los polipastos es tal que, en crujía se coloca un polipasto con una eslinga ahorcando el eje para evitar que este salga por su peso. Colgando de las orejetas en la popa del barco se colocan hasta 6 polipastos, tres por cada lado, que van a ser los encargados de realizar la fuerza de tiro necesaria para la extracción del eje. Como medida protectora, se recubre la rosca de la mecha del timón con goma armada para proteger de posibles golpes.



Ilustración 26: primeros pasos de la extracción del eje

Como se puede apreciar en la Ilustración 26, se colocan los polipastos ligeramente posicionados a popa de la hélice abrazando las dos palas laterales de esta, de manera que estos son los encargados de realizar la primera tracción. Una vez la hélice se sacó hasta el punto de situarse debajo de los polipastos y que estos no realicen más tracción, se colocan los siguientes en las eslingas de los primeros polipastos, y estos primeros pasan a servir de soporte en el eje. A continuación se sigue realizando la misma operación, tensando los polipastos a popa para crear tracción y soltando poco a poco los polipastos que funcionan de soporte para permitir el avance.

Estas operaciones son muy delicadas debido a que el eje se debe llevar lo más centrado posible para evitar roces y golpes contra la bocina del buque. En caso de moverse mucho hacia una banda, es indicativo de que se debe tensar el polipasto de soporte de la banda contraria para el reparto equitativo de las cargas.

Una vez la hélice vuelve a superar la vertical de los polipastos de tracción, se utilizan los situados más a popa para realizar la tracción y los primeros pasan a servir de soporte, pudiendo retirar los situados más a proa al no realizar acción alguna.



Ilustración 27: Últimos pasos de la extracción de la hélice

Por último, cuando la hélice llega a la vertical de los últimos polipastos, se conectan los ganchos de la grúa para realizar una vez más el mismo procedimiento. Se colocan los polipastos más a popa en las eslingas de sujeción del eje y se comienza a cobrar, realizando los últimos movimientos de tracción a la vez que se sueltan los polipastos de sujeción. Una vez la eslinga llega a la vertical del polipasto, se coloca un polipasto extra en el gancho de la grúa y se une a la eslinga de sujeción, situada aproximadamente a un tercio del eje. Gracias a este último polipasto en la grúa, se consigue nivelar el eje y poder transportarlo hasta unos caballetes diseñados para esto.



Ilustración 28: colocación del eje propulsor en el muelle

2.6 Pruebas realizadas al eje de propulsión y al timón

Principalmente, las pruebas realizadas a los elementos desmontables se pueden dividir en líquidos penetrantes para la visualización de pequeñas grietas en puntos de fatiga, y por otro lado la medición de holguras para conocer los desgastes existentes en los elementos sometidos a fricción.

2.6.1 Líquidos penetrantes al timón

Para conocer el estado de desgaste de la mecha del timón, se realizaron pruebas de líquidos penetrantes en toda la superficie del cono de apriete. Para ello, una empresa externa especializada y certificada fue llamada y, con la participación y ayuda del equipo propio del astillero realizó las pruebas pertinentes.



Ilustración 29: Aplicación del líquido penetrante en la mecha del timón

El primer paso consiste en la limpieza mecánica y química de la superficie a ensayar para la correcta aplicación del líquido penetrante. Esto se consigue en una primera instancia con una amoladora portátil con cepillo de alambre y con desengrasante en segunda instancia.

Una vez se aplicó el líquido penetrante por la superficie de la mecha, se esperó un mínimo de 5 minutos tal y como se expone en la normativa UNE-EN ISO 3452-1, se procedió a la retirada del exceso de líquido, y se aplicó el revelador (AENOR 2021).

A continuación se realizó la inspección en la que se concluyó que no existían grietas apreciables, certificando un buen estado de la mecha del timón.



Ilustración 30: Aplicación del líquido revelador y resultado final

2.6.2 Líquidos penetrantes a la pala de la hélice

De manera similar al ensayo realizado a la mecha del timón, se realizó un ensayo de líquidos penetrantes en la base de la hélice por una empresa certificada. Esta decisión se toma debido a que la zona más cercana de la pala al núcleo de la hélice, es la zona en la que más esfuerzos de torsión y flexión sufre en el correcto funcionamiento de la propulsión.

De tal forma que, conforme a la norma española UNE-EN ISO 3452, se comienza con una limpieza mecánica y química de la pala del timón, se aplica líquidos penetrantes por ambas caras de la base de la hélice, se espera un mínimo de 5 minutos para la penetración del líquido en las posibles grietas y se retira el exceso de líquido. Posteriormente se aplica el líquido revelador y se realiza la inspección visual, confirmando el buen estado de la hélice (AENOR 2021).

Además de la prueba a la pala, se realiza la misma prueba a los 6 tornillos de sujeción entre la pala y el núcleo de la hélice, con resultados igualmente positivos.

2.6.3 Líquidos penetrantes al eje propulsor

De manera similar a como se realizaron las otras dos pruebas, se realizó una limpieza con amoladora portátil con disco de cepillo de alambres para la limpieza mecánica, y desengrasante para la limpieza química. Aprovechando la situación, se realizó la limpieza del conjunto eje propulsor y hélice, produciéndose una limpieza de todos los elementos.

Como indica la normativa española UNE-EN ISO 3452, el procedimiento se realizó mediante la aplicación de líquido penetrante en las zonas de concentración de esfuerzos como son los conos de cambios de diámetros a lo largo del eje. Tras la espera de 5 minutos, se retiró el líquido excesivo y se aplicó el revelador. En la inspección visual realizada por los técnicos certificados se comprobó el buen estado del eje propulsor.

2.6.4 Medida de holguras en la mecha del timón

Debido al movimiento rotatorio de la mecha del timón contra el casco y las fuerzas de compresión existentes en el punto de salida de la mecha a través del casco, se utiliza un casquillo de bronce entre la bocina y la propia mecha. Este casquillo sufre un desgaste con el paso del tiempo al ser el material de menor dureza, hecho así para proteger del desgaste a la propia mecha.

Para conocer el estado de este casquillo y su desgaste, es necesaria la toma de medidas de holgura entre este, el cual va fijado con tornillos al casco del buque, y la propia mecha. Para ello, se introducen galgas hasta completar el espacio existente entre ambos elementos para luego con ayuda de un calibre pie de rey medir el espesor de las galgas con una precisión de décimas de milímetro.

Estas medidas se deben tomar en el sentido proa popa, y en babor estribor para conocer el estado completo del casquillo. En el eje proa popa, la medida obtenida fue de 0,5 mm y en el eje babor estribor la holgura fue de 0,7 mm, concluyendo un estado óptimo del casquillo.



Ilustración 31: Toma de medidas de holguras del casquillo de la mecha del timón

2.7 Colocación del eje propulsor y pala de la hélice

2.7.1 Colocación del eje propulsor

Una vez se han realizado todas las pruebas a los diferentes elementos desmontados y estas han sido satisfactorias, se procede al montaje de nuevo de los elementos.

En primer lugar, es necesario el desmontaje, limpieza y sustitución de los labios de los sellos tanto de la bocina con la sala de máquinas, como de la bocina con el mar. Para ello, en el caso de los sellos que dan al mar, se tiene el casquillo de bronce en el que cierran los sellos y que va solidario con la hélice, el cual se extrae y se realiza una limpieza mecánica con elementos de limpieza poco abrasivos.

A continuación se procede al desmontaje de los cuatro aros que soportan los labios de cierre para su limpieza. Una vez se han limpiado correctamente, se montan junto con los nuevos labios de goma que realizan el sello. Para evitar confusiones, los aros se marcan antes del desmontaje con una numeración que indica su posición original. La posición de los labios de goma es tal que dos de ellos miren hacia la bocina y serán el cierre del aceite, y el último que se coloca de forma que mire hacia la hélice para realizar el cierre del agua.



Ilustración 32: Sello de popa de la bocina del eje

Una vez se han colocado los labios con los aros de sujeción correspondientes, se inserta el casquillo de nuevo concéntrico a los sellos para su posterior instalación.

De manera análoga a como se realizó en el sello de popa, en el sello de proa de la bocina se extrae el casquillo junto con el zuncho que sirve de apriete entre el casquillo y el eje para su desmontaje y limpieza. Para el soporte de los sellos, se desmontan los tornillos que unen el soporte inferior con el superior y se realiza el cambio de labio de goma. En este sitio, el labio va colocado de forma que mire hacia la bocina para realizar correctamente el sello.



Ilustración 33: Casquillo del sello de proa de la bocina del eje propulsor junto con las dos medias lunas del zuncho



Ilustración 34: soporte del sello de proa de la bocina del eje propulsor

Con los sellos preparados para su colocación, el siguiente paso es colocarlos en posición. En el caso del sello de popa, se presentaría junto con el eje propulsor para colocarlo una vez se devuelva el eje al sitio. Acompañando al sello de popa, se colocan una junta tórica y una junta de cartón entre el casquillo y la hélice y una junta de cartón entre el soporte de los sellos y la bocina.



Ilustración 35: Colocación del sello de popa con las juntas en el eje propulsor

Con respecto al sello de proa de la bocina, este se sube a bordo y se deja colgando de un polipasto junto con las juntas tóricas y de papel correspondientes para poder abocarlo con facilidad una vez la cabeza del eje empiece a entrar a la sala de máquinas e instalarlo posteriormente.



Ilustración 36: Sello de proa de la bocina del eje propulsor suspendido

Con los sellos en posición, el siguiente paso es, con ayuda del camión grúa y de manera análoga a como se extrajo el eje, acercar éste a la popa del buque. Se comienza con dos eslingas sujetando la hélice directamente a los ganchos del camión, y una tercera a través de un polipasto para poder nivelar el peso de la hélice y transportarla horizontalmente.

Una vez se ha posicionado el eje debajo del espejo de popa y la grúa no puede acercarlo más, se comienza a conectar los polipastos de popa a la eslinga que sujeta el eje para realizar tracción y acercar el eje debajo del buque. Cuando estos ya se encuentran en la vertical y soportando la tensión en la eslinga, se procede a retirar el primer polipasto colocado entre los ganchos de la grúa y la eslinga. En ese punto, se conectan los siguientes polipastos ubicados en el medio y se empieza a cobrar hasta liberar la tensión en los primeros. Estos primeros polipastos se conectan a las eslingas de la hélice para poder liberar por completo el peso del eje de la grúa y realizar el traslado con los polipastos.



Ilustración 37: Cambio de pesos del eje entre la grúa y los polipastos

Una vez los polipastos de en medio se encuentran verticales y no realizan más tracción para la inserción del eje, se conectan los ubicados más a proa para proseguir y los polipastos de en medio se posicionan en las eslingas de la hélice. Por último, cuando los polipastos de proa se encuentran en la vertical de la eslinga, se conecta un último polipasto situado en crujía encima de la bocina para realizar tracción, y la pareja de polipastos de proa se conectan a las eslingas de la hélice para soportar el peso del conjunto hasta llevarlo a la posición.



Ilustración 38: Último tramo de la inserción del eje propulsor

En ese momento, se realiza una pausa para colocar los sellos tanto dentro de la sala de máquinas, como en el exterior. Esta operación consiste en el apriete de los tornillos que sujetan los soportes de los sellos y los casquillos al casco y al eje en ambos extremos de la bocina.



Ilustración 39: fijación de los sellos exteriores

Llegado este punto, la inserción del eje se frena, debido a que en el último tramo final con el apriete del mangón, es necesario el virado del eje y este debe estar equilibrado con la pala que previamente se había extraído.

2.7.2 Colocación de la pala de la hélice

Previo a la inserción total del eje propulsor, es necesaria la instalación de la pala de la hélice para equilibrar los pesos y permitir el virado de la hélice. Para ello, de manera análoga a como se extrajo, se abraza la base de la hélice con dos eslingas que se atan con ayuda de un grillete de lira en la arista. A dicho grillete se coloca el gancho de la grúa torre que realizará el transporte desde el muelle hasta la popa del buque.

Una vez la pala de la hélice ha llegado a ese punto, se empieza a realizar la operación de la tirolina a la americana, engancho un polipasto situado a proa, cobrando cadena del mismo y lascando a la vez del gancho de la grúa para la transferencia de pesos. Repitiendo la acción se consigue llegar a posicionar la pala encima del núcleo de la hélice.

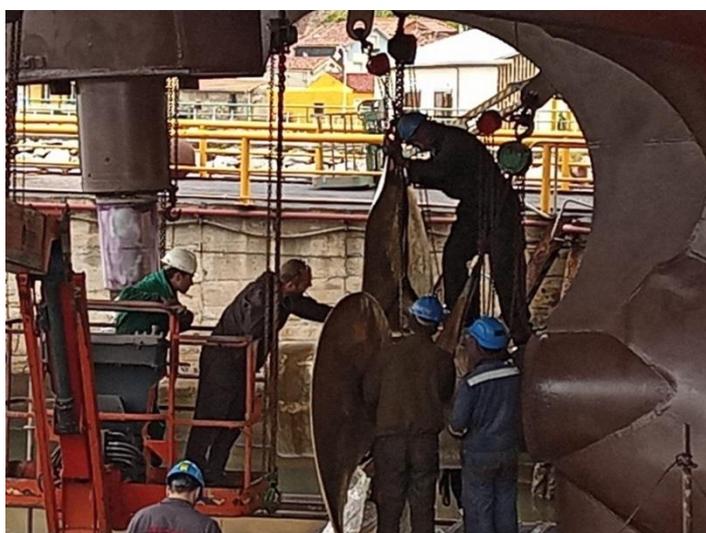


Ilustración 40: Colocación de la pala de la hélice en posición

Con la pala en posición, se procede a la colocación y al apriete de los tornillos de sujeción. Este apriete se realiza con la llave de apriete hidráulica, monitorizando la presión de apriete y del par aplicado.

Con la pala ya colocada y el peso de la hélice centrado, se procede al calado del mangón del acoplamiento al eje propulsor. Para ello, se desplaza hacia el interior los últimos centímetros que restaban por introducir y con la ayuda de dos bombas hidráulicas, una conectada al aceite de dilatación para crear la holgura necesaria dentro del mangón, y otra bomba hidráulica conectada a la tuerca gato que realiza la inserción del eje dentro del mangón. Las presiones de trabajo de ambas bombas, pueden llegar a los 40 megapascales de presión en la tuerca gato y 70 megapascales en la presión de dilatación. Para realizar el alineamiento, se utiliza el método de los relojes comparadores junto con el virado de la hélice.

A continuación, se procede a la toma de medidas de la caída de la hélice de igual manera a como se hizo previa extracción del eje para la comparación de resultados. Estos resultados se deben anotar en la caja del calibre que permanecerá en el camarote del jefe de máquinas.

Date	Initials	Top	Bottom
2008.10.05		64.40	63.90
2009.3.9		64.50	64.22
30-05-14		64.50	64.20
6-6-14		64.50	64.40
30-05-24	A.R.A	64.40	64.30
18-06-24	A.R.A	64.60	64.50
Date	Initials	Top	Bottom

Ilustración 41: Anotación de los datos de la caída del eje en la caja del calibre

Por último, es necesario rellenar los aceites tanto hidráulico, como de la bocina para su correcto funcionamiento. Para rellenar el aceite hidráulico, este se introduce a través del sistema de control de paso variable, el cual se ha conectado una vez el eje está en posición. En el caso del aceite de refrigeración de la bocina, se introduce a través del tanque de expansión hasta rellenar todo el compartimento de la bocina y no se observan fugas por ningún sitio. Para rellenar los espacios entre los sellos, con la ayuda de una jeringuilla, se introduce aceite a través de los tapones de inspección de cada sello.

2.8 Colocación del timón

Previo paso a la colocación del timón, es necesario comprobar el correcto funcionamiento de la tuerca gato. Para ello, se realiza una limpieza mecánica con cepillo de alambre, y una limpieza química con un trapo y limpiador desengrasante para eliminar los últimos restos de suciedad.



Ilustración 42: Tuerca gato del timón después de la limpieza

Como paso final de la reparación, se debe colocar de nuevo la pala del timón en su posición. En el muelle de armamento, lugar en el que estaba posicionado el timón, se enganchan las cuatro orejetas a las cadenas del camión-grúa para su traslado hasta la popa del buque.

Una vez la pala alcanza este punto, se realiza la operación a la inversa a la extracción, mediante el uso de la técnica de la “tirolina a la americana”. Se conectan los dos polipastos ubicados más a popa a los grilletes de las orejetas de proa de la pala, se sueltan esos dos ganchos de la grúa y se comienza a cobrar de los polipastos, hasta llegar al punto en el que los siguientes polipastos, los ubicados en el centro, se pueden enganchar en esos grilletes.

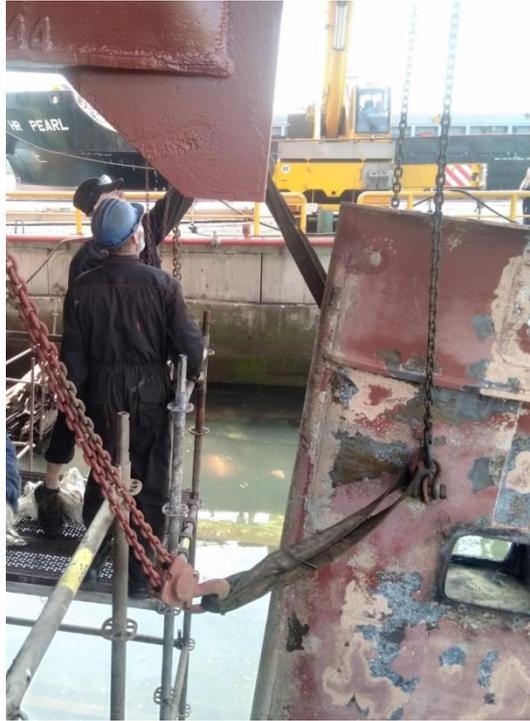


Ilustración 43: Enganche de los polipastos para la liberación de los ganchos de la grúa

En ese punto, los primeros polipastos se cambian a los grilletes de las orejetas de popa de la pala. Momento en el que los polipastos de popa servirán de soporte para poder desenganchar los dos ganchos restantes de la grúa.

A continuación, se prosigue con la operativa cobrando de los polipastos del centro y soltando de los polipastos de popa hasta que las orejetas de proa de la pala se encuentran en la vertical del polipasto. Llegado ese punto, se conectan los polipastos de proa a los grilletes de proa de la pala y los del centro se cambian a los grilletes de popa. Con esta configuración de polipastos, es posible levantar la pala del timón gracias a los polipastos de proa y popa, los cuales quedan prácticamente verticales a las orejetas soldadas a la pala, y con los polipastos del centro, colocados en oblicuo, es posible darle la inclinación del 7 % necesaria para subir paralelamente a través de la mecha.



Ilustración 44: configuración de polipastos para la inserción de la pala del timón

Una vez la pala se sitúa con el cono de apriete abocado a la mecha del timón, se comienza su levantamiento con la coordinación de los 6 polipastos hasta llegar a clavar los conos todo lo posible con la fuerza de los polipastos. En ese momento, la rosca de la mecha donde se ubica la tuerca gato será visible a través de las cesáreas.

A continuación, se coloca la tuerca gato gracias a la ayuda de un soporte para abocarla y se comienza a girar hasta que empiece a roscar. Cuando la tuerca gato se ha llevado todo lo posible a través de la rosca con la llave de impacto, se realiza un último apriete con la ayuda de la maza.



Ilustración 45: colocación de la tuerca gato en la mecha del timón



Ilustración 46: apriete de la tuerca gato a mano

En ese punto, se realiza una medición con el calibre de la profundidad entre la parte baja de la tuerca y el final de la rosca de la mecha para tener una aproximación de cuánto se necesita clavar el cono de la pala en el cono de la mecha. A continuación, se conectan los gatos hidráulicos a los puntos de conexión. Por un lado se conecta un gato hidráulico a la tuerca gato para la presión de empuje, y por otro lado, otro gato hidráulico a la conexión de aceite hidráulico de dilatación, ambos con capacidad de levantar 90 megapascales de presión.



Ilustración 47: conexión del gato hidráulico del aceite de dilatación del cono

Según el procedimiento de calado de timones de apriete hidráulico creado por la sociedad de clasificación DNV, y explicado por el inspector de la propia clase a los trabajadores del astillero, se comienza creando una presión en la tuerca gato de 5 megapascales, confirmando el contacto entre los dos conos. En este punto se coloca un reloj comparador con la base en el mamparo horizontal situado debajo de la mecha, y se apoya en la parte inferior de la misma, tal y como se aprecia en la Ilustración 48.



Ilustración 48: Colocación del reloj comparador entre el mamparo de la pala y la mecha del timón

A continuación, se posiciona la escala del reloj comparador a cero. A partir de este punto, se eleva paulatinamente la presión en la tuerca gato y la presión de dilatación mientras se anotan las presiones y el desplazamiento del timón en una tabla (Tabla 1).

Tabla 1: Apriete del timón

Presión en la tuerca gato (MPa)	Presión de dilatación (MPa)	Desplazamiento (mm)
5	0	0
20	10	2,10
30	20	2,99
40	35	3,50
50	50	5,30
60	70	6,40
70	85	7,2
75	85	7,2

Como se aprecia en la tabla, el desplazamiento vertical del timón para su enclavamiento fue un total de 7,2 mm, acercándose al límite superior estipulado por la sociedad de clasificación del buque, la cual delimita el calado del timón entre 5 y 7,4 mm.

Con el timón en posición, la siguiente acción es la retirada de las orejetas soldadas para el manejo de la pala y el cierre de las dos cesáreas realizadas a la pala del timón para acceder a la tuerca gato. Esta se lleva a cabo con máquina de soldar de hilo, con doble peinado. Al acabar las operaciones de soldadura, se realiza una prueba de ultrasonidos al cordón de soldadura para certificar la estanqueidad del compartimento.



Ilustración 49: Cesáreas cerradas y limpieza mecánica de la pala del timón

Posteriormente, se suelda nuevamente el guardacabos al casco y se realiza una limpieza mecánica a la pala de la hélice para la retirada de la pintura vieja y las incrustaciones, se prosigue con una aplicación de patente que proteja el acero y la soldadura de nuevos ánodos de sacrificio en la pala del timón.

Añadido a ello, el cliente solicitó la aplicación de una pintura deslizante en la hélice que reduce la fricción de la misma con el agua, viéndose reflejado esta operación en la reducción de consumos de combustible.



Ilustración 50: Hélice y pala del timón finalizadas

2.9 Botadura del buque

Todas las operaciones de mecánica se realizan en coordinación con el resto de operaciones de calderería, tubería y puntura para acabar los trabajos en fechas cercanas entre ellos, de forma que se optimicen los recursos humanos de la mejor manera posible.



Ilustración 51: buque con los trabajos de reparación finalizados

Una vez se han completado todos los trabajos, se produce la botadura del buque. Para ello, es necesaria la desconexión de los servicios ofrecidos durante la varada como el agua sanitaria, agua contra incendios, electricidad y sistema de tratamiento de residuos fecales. También se realiza una prueba de movimiento del carro con la maquinilla hacia arriba para confirmar que el peso del buque durante su estancia en el varadero no ha deformado las ruedas debido al peso y estas funcionan correctamente.

Con todo ello correcto, se procede a la retirada de la escalera de acceso, subida de los perrillos de seguridad y se comienza la botadura. Como se comentó en el apartado del Varado del barco, el conjunto de las fuerzas de rozamiento impiden que al destensar el cable de varado, el buque baje por su peso, por lo que la operativa de botadura se compone de la bajada del cable de varado, mientras las maquinillas de los cables de retorno realizan la tracción del buque hacia el mar.

Una vez el buque se encuentra con la popa a flote, un remolcador da cabos al buque para realizar la maniobra de atraque en el muelle.



Ilustración 52: Maniobra de remolcaje del buque desde el final de la grada

Por último, se atraca el buque en el muelle de armamento del propio astillero para realizar las pruebas de mar antes de dar por finalizada la obra.

3 Conclusiones

La gestión de los trabajos de reparación en un astillero conlleva una dificultad elevada. Es necesario tener conocimientos técnicos de las operaciones marinas rutinarias, el correcto funcionamiento de toda la maquinaria que lleva un buque y muchos conocimientos adquiridos en la etapa formativa. Esto se complementa con un conocimiento práctico de cómo llevar a cabo esas reparaciones y llevarlas a cabo con la mayor eficacia y eficiencia posible, adquiriéndose día a día en cada nueva reparación.

La necesidad de un equipo de marinos universitarios en la gestión de las reparaciones tanto a flote como en dique se hace presente al ser el eslabón perfecto entre los mecánicos, que realizan las operaciones rutinarias con la herramienta pero sin ciertos conceptos obtenidos en la formación, y los ingenieros navales con grandes conocimientos técnicos pero con carencias prácticas en el campo de trabajo.

El aporte al sector naval ofrecido por los astilleros y su labor como reparadores y mantenedores de los buques se hace crucial para el correcto funcionamiento del comercio marítimo día tras día.

4 Bibliografía

- AENOR. «Ensayos no destructivos Ensayo por líquidos penetrantes Parte 1: Principios generales (ISO 3452-1:2021).» Norma, 2021.
- Astilleros Ría de Avilés. *Astilleros Ría de Avilés*. 2019. <https://www.astillerosriadeaviles.com/> (último acceso: 16 de Junio de 2024).
- CEREZO, JOSÉ LUIS. «EL SECTOR DE CONSTRUCCIÓN NAVAL EN ESPAÑA. Situación y perspectivas.» Artículo, Madrid, 2006.
- Domínguez, Rubén. *Patrimonio Industrial Asturias*. 2019. <https://patrimoniuiustrial.com/fichas/astilleros-de-san-juan/> (último acceso: 14 de Junio de 2024).
- RAE. «Real Academia Española.» 2014. <https://dle.rae.es/astillero> (último acceso: 2024 de Abril de 17).
- Tabla de mareas. *tablademareas*. 2024. <https://tablademareas.com/es/asturias/aviles> (último acceso: 19 de Junio de 2024).